

Univerzita Karlova v Praze

Přírodovědecká fakulta

Ústav pro životní prostředí

Výzkumný ústav rostlinné výroby, v. v. i.



## PRODUKCE CO<sub>2</sub> NA POLÍCH OBDĚLÁVANÝCH ORBOU A PŮDOOCHRANNÝMI TECHNOLOGIEMI

## PRODUCTION OF CO<sub>2</sub> FROM TILLAGE AND CONSERVATION-TILLAGE FIELDS

Tat'ána Červinská

květen 2012

Školitel Doc. Ing. Mgr. Jan Frouz, CSc.

Konzultant Ing. Gabriela Mühlbachová, Ph.D.

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracovala samostatně s využitím uvedené literatury a informací, na něž odkazuji. Svoluji k jejímu zapůjčení s tím, že veškeré (i přejaté) informace budou řádně citovány.

V Praze dne .....

.....

## **Poděkování**

Chtěla bych poděkovat všem, kteří mi pomáhali při vzniku této práce. Především Ing. Gabriele Mühlbachové, Ph.D. za vedení při experimentech a moudré rady, Doc. Ing. Mgr. Janu Frouzovi, CSc. za vedení diplomové práce a Martinu Holečkovi za významnou psychickou pomoc. Dále bych chtěla poděkovat zaměstnancům Výzkumného ústavu rostlinné výroby, v. v. i., jmenovitě pak Ing. Radku Vaverovi, Ph.D., za pomoc při experimentech.

Tato práce vznikla díky podpoře MZe ČR a za finanční pomoci MZe 000 270 0604.

## Abstrakt

Byla sledována respirace půdy in situ pomocí přístroje Li 8000 a dále potenciální mikrobiální respirace, mikrobiální biomasa, enzymatická aktivita a obsah organických látek v různých hloubkách půdy na dvou typech ploch: na polích obdělávaných klasickou orbou a na polích, na kterých se hospodařilo pomocí půdoochranných technologií, zde byly použity minimalizační a bezzásahová technologie. Na těchto plochách byly pěstované řepka olejka v prvním roce a hrách setý v druhém roce sledování (2010 a 2011). Sledování probíhalo na experimentálních plochách VÚRV, založených v r 1995 v Praze Ruzyni s cílem odhadnout, jaký je vliv těchto zemědělských technologií na akumulaci, či ztrátu uhlíku z půdy.

Bylo zjištěno, že plochy obdělávané orbou, byl signifikantně vyšší tok  $\text{CO}_2$  z půdy, než na plochách s půdoochrannými technologiemi. Tok  $\text{CO}_2$  byl také ovlivněn vnějšími podmínkami, především teplotou. Z hlediska celkového obsahu mikrobiální biomasy se plochy nelišily. Ovšem lišily se z hlediska organických látek. Plochá obdělávaná minimalizací měla signifikantně vyšší obsah organického uhlíku, než zbývající pole. Plochy se rovněž lišily i z hlediska huminových látek. Plochy obdělávané půdoochrannými technologiemi měly signifikantně vyšší obsah huminových kyselin.

Pole obdělávané orbou, nebo půdoochrannými technologiemi se taktéž lišily z hlediska rozložení mikrobiální biomasy a organických látek podle hloubky. Rozložení mikrobiální biomasy a organických látek na orbě bylo rovnoměrné do hloubky 30 cm. Naopak na plochách obdělávaných půdoochrannými technologiemi měly sledované látky nejvyšší koncentrace v horní vrstvě 0 - 10 cm, a s hloubkou jejich obsah klesal.

## **Abstract**

Soil respiration was studied in situ, using an apparatus Li 8000, together with potential microbial respiration, microbial biomass, enzymatic activity and content of organic substances in soil at different depths in two types of agricultural technologies: the conventional tillage cultivated fields and the fields on which were farmed using soil conservation technologies, here were used minimization and no tillage technology. These areas were sown by oilseed rape in the first year and a pea in the second year of observation (2010 and 2011). Study was carried out on long term experimental plots, established in 1995, in Prague Ruzyně to estimate the impact of these agricultural technologies on the accumulation or loss of carbon from the soil.

It was found that the fields under cultivation tillage had significantly higher CO<sub>2</sub> flux from soil than in areas with soil conservation technologies. CO<sub>2</sub> flux was also influenced by external conditions, especially temperature. Total microbial biomass did not differ between technologies. However, they differ in terms of organic matter content. Minimizing resulted in significantly higher organic carbon content than the remaining fields. Areas under soil conservation technologies had a significantly higher content of humic acids.

Cultivated fields plowing, or soil conservation technologies, also differed in terms of distribution of microbial biomass and organic matter according to depth. Distribution of microbial biomass and organic matter in fields with classical tillage was equal to plowing depth (30 cm). Conversely, areas under soil conservation technologies have the highest microbial biomass and organic matter content in the surface layer (0 - 10 cm), and their content declined with depth.

# Obsah

<b>1</b>	<b>ÚVOD</b>	<b>8</b>
1.1	PŮDA A ZEMĚDĚLSTVÍ	9
1.2	ZPRACOVÁNÍ PŮDY	10
1.2.1	Typy zemědělských technologií	11
1.2.2	Porovnání zemědělských technologií	13
1.3	PŮDA	15
1.3.1	Úrodnost	15
1.3.2	Fyzikální ukazatele kvality půdy	15
1.3.3	Chemické ukazatele kvality půdy	17
1.3.4	Biologické ukazatele kvality půdy	17
1.4	OXID UHLÍČITÝ	19
<b>2</b>	<b>MATERIÁL A METODIKA</b>	<b>22</b>
2.1	POPIS LOKALITY	22
2.2	TERÉNNÍ MĚŘENÍ TOKU CO <sub>2</sub> Z PŮDY	23
2.3	CELODENNÍ MĚŘENÍ	27
2.4	ODBĚR VZORKŮ PRO LABORATORNÍ ANALÝZY	27
2.4.1	Odběr vzorků metodou Kopeckého válečků	27
2.4.2	Odběr vzorků pomocí pedologické sondy	28
2.5	LABORATORNÍ POSTUPY	28
2.5.1	Laboratorní stanovení respirace	28
2.5.2	Stanovení mikrobiální biomasy	29
2.5.3	Stanovení aktivity dehydrogenázy	30
2.5.4	Stanovení aktivity ureázy	31
2.5.5	Stanovení huminových kyselin	32
2.5.6	Stanovení celkového organického uhlíku	33
2.6	STATISTICKÉ ZPRACOVÁNÍ DAT	34
<b>3</b>	<b>VÝSLEDKY</b>	<b>35</b>
3.1	SOUHRNNÉ VÝSLEDKY VŠECH SEZÓNŇÍCH MĚŘENÍ	35
3.2	VÝSLEDKY SEZÓNŇÍCH MĚŘENÍ	37
3.2.1	Jaro 2010	37
3.2.2	Jaro 2011	38
3.2.3	Podzim 2010	39
3.3	CELODENNÍ MĚŘENÍ RESPIRACE	40
3.4	LABORATORNÍ ROZBORY	42
3.4.1	Laboratorní respirace	42
3.4.2	Mikrobiální biomasa	43
3.4.3	Organický uhlík	45
3.4.4	Aktivita enzymů skupiny dehydrogenázy	46
3.4.5	Aktivita enzymů skupiny ureázy	47
3.4.6	Obsah huminových kyselin a huminových látek	48
3.5	UKAZATELE FYZIKÁLNÍCH VLASTNOSTÍ PŮDY	49
3.5.1	Redukovaná objemová hmotnost	49
3.5.2	Maximální vodní kapacita	51
<b>4</b>	<b>DISKUZE</b>	<b>53</b>
4.1	SOUHRNNÉ VÝSLEDKY VŠECH SEZÓNŇÍCH MĚŘENÍ	53
4.1.1	Vliv prostředí	53
4.1.2	Vliv teploty	54
4.1.3	Vliv půdní vlhkosti	54
4.1.4	Pórovitost půdy a půdní vzduch	55
4.2	RESPIRACE V PRŮBĚHU ROKU	55
4.2.1	Jaro	56
4.2.2	Podzim	56
4.3	CELODENNÍ EXPERIMENT	57
4.4	LABORATORNÍ MĚŘENÍ	59
4.4.1	Laboratorní respirace	59

4.4.2	<i>Rozložení mikrobiální biomasy .....</i>	<i>60</i>
4.4.3	<i>Rozložení organického uhlíku .....</i>	<i>60</i>
4.4.4	<i>Aktivita enzymů .....</i>	<i>61</i>
4.4.5	<i>Obsah huminových látek .....</i>	<i>61</i>
<b>5</b>	<b>ZÁVĚRY .....</b>	<b>63</b>

# 1 Úvod

Půda představuje složitý dynamický systém na rozhraní litosféry a atmosféry. Mimo jiné se jedná o významný rezervoár uhlíku. Uhlík se do půdy dostává především z odumřelých částí rostlin a je v ní uložen ve formě organických sloučenin. Půda je také samostatný ekosystém, který díky značné heterogenitě poskytuje obrovský životní prostor řadě mikroorganismů. Právě mikroorganismy se největší mírou podílejí na přeměně organických látek v půdě. Základním projevem, vlastním všem živým organismům, je dýchání. Heterotrofní organismy žijící v půdě přeměňují organickou hmotu a při tom uvolňují uhlík v půdě obsažený ve formě oxidu uhličitého. Organické látky, které se nespotřebují k dýchání, se ukládají v půdě, často vázané ve formě komplexních sloučenin, Brady a Weil, (2001).

Organické látky a komplexní uhlíkaté sloučeniny jsou důležitou součástí půdní struktury a zásadně ovlivňují úrodnost a kvalitu půdy. Zvýšená aktivita půdní mikroflóry může vést ke ztrátám organického uhlíku z půdy. Tento úbytek organické hmoty může vést až k znehodnocení půdy. Úbytek uhlíku v půdě je tedy považován za jeden z problémů současnosti spojených se zemědělstvím. Množství produkovaného oxidu uhličitého a množství uložených uhlíkatých látek v půdě tak souvisí i s kvalitou obhospodařované půdy, Six at al. (2000).

Vnější podmínky přímo ovlivňují aktivitu mikroorganismů. Člověk svými zásahy může měnit podmínky panující v půdě i její strukturu. Nejdůležitější lidskou činností, která složení půdy přímo ovlivňuje, je zemědělství. Toto odvětví způsobuje největší zábor plochy ze všech lidských činností. V České Republice zabírá zemědělská půda přes 54 % celkového území, z toho přes 70 % připadá na ornou půdu, Brady a Weil, (2001).

V současné době se v ekologii přikládá mimořádná pozornost oxidu uhličitému. Velmi často se hovoří o antropogenním nárůstu koncentrace oxidu uhličitého v atmosféře a v souvislosti s tímto nárůstem i o možných změnách klimatu Země, IPCC (2007). Produkce tohoto plynu, způsobeného lidskou činností, se stala velmi závažným tématem. V této souvislosti je stále větší pozornost věnována vlivu zemědělství na koloběh uhlíku, především oxidu uhličitého vznikajícího při respiraci půdních organismů. Díky obrovskému rozsahu zemědělských ploch je i objem produkovaných plynů, organismy v zemědělské půdě, enormní, Lal (2007).



Jedna z lidských činností, o níž je známo, že podporuje produkci oxidu uhličitého v půdě, je orba. Analogií k orbě jsou alternativní zemědělské postupy, souhrnně označované jako půdoochranné technologie. Tato práce si klade za cíl zjistit vliv rozdílných zemědělských postupů na přeměnu uhlíku. Porovnat tyto postupy a zjistit jakou měrou mohou ovlivňovat produkci oxidu uhličitého vznikajícího v půdě. Jedním z cílů práce je sledovat změny v rozsahu respirace během roku a pokusit se produkci oxidu uhličitého kvantifikovat. Dále je sledováno, jak tyto zemědělské postupy ovlivňují složení půdy z hlediska obsahu uhlíkatých látek, jak mohou ovlivňovat koloběh uhlíku a zda dochází k akumulaci, či ztrátě uhlíku ze zemědělské půdy. K tomuto účelu byly využity pokusné plochy Výzkumného ústavu rostlinné výroby, v.v.i. v Praze Ruzyni, které byly dlouhodobě obdělávány jak orbou, tak půdoochrannými technologiemi, což umožnilo jejich porovnání v rámci jedné lokality. Sběr dat probíhal přímo v terénu, kde se přístroji měřilo množství oxidu uhličitého produkovaného sledovanými pokusnými plochami. Další součástí práce pak představovaly laboratorní rozbor vzorků odebraných ve stejných lokalitách, na nichž byla měřena potenciální mikrobiální respirace a další mikrobiální a chemické parametry.

## **1.1 Půda a zemědělství**

### **Ochrana životního prostředí v zemědělství**

Primárním účelem zemědělství je produkce potravin a technických surovin. Stále častěji se však mluví o zemědělství i v souvislosti s péčí o krajinu. Nejdůležitější již nejsou nejvyšší výnosy, ale i jiné funkce, jež nabízí obhospodařovaná krajina, Němec (2007).

Zemědělská činnost se stává výrazným činitelem při ochraně životního prostředí. Ať už se jedná o druhovou ochranu, podporu biodiverzity, Rusek (2005) obranu proti vodní či větrné erozi, Zachar (1982), sledování zatížení způsobovaného hnojivy a chemickými postřiky, nebo používání k přírodě šetrnějších technologií. Do popředí se dostávají i jiné aspekty zemědělské praxe než čistý zisk. Tradiční příkré dělení na „lidské“ a „přírodní“ se stírá a na krajinu využívanou člověkem se začíná pohlížet v širších souvislostech. Pozornost si získávají další funkce jako je schopnost půdy zadržet vodu, vliv zemědělství na erozi či udržení produkčních schopností půdy, SPŽP ČR (2004). Zemědělství je i téma, které je neodmyslitelnou součástí diskuzí o celosvětových problémech, zejména pokud jde o možnou antropogenní změnu klimatu, Lal (1997).

## Rozsah zemědělské půdy

Zemědělsky obhospodařované plochy zabírají přes polovinu plochy České republiky. V posledním desetiletí je zaznamenán trend poklesu výměry zemědělské půdy. I přes tento mírný úbytek, představovala plocha zemědělsky obdělávané půdy v roce 2011 okolo 54 % rozlohy naší země. Ze zemědělsky obhospodařované plochy České republiky zabírá orná půda 71 %, z celostátního hlediska to tedy představuje 38 % rozlohy republiky.

Tabulka 1. Půdní bilance ČR - v tisících ha

Rok	2000	2005	2006	2007	2008	2009 <sup>1)</sup>	2010
Celková výměra	7 887	7 887	7 887	7 887	7 887	7 886	7 887
Zemědělská půda	4 280	4 259	4 254	4 249	4 244	4 239	4 234
Orná půda	3 082	3 047	3 040	3 032	3 026	3 017	3 008

Poznámka: <sup>1)</sup> rozdíl v celkové výměře je způsoben obnovou katastrálního operátu v jiné souřadnicové soustavě, Zdroj: ČSÚ (2010) Bilance půdy v krajích, [http://vdb.czso.cz/vdbvo/tabparam.jsp?voa=tabulka&cislatab=RSO0010PU\\_KR&vo=null&kapitola\\_id=9](http://vdb.czso.cz/vdbvo/tabparam.jsp?voa=tabulka&cislatab=RSO0010PU_KR&vo=null&kapitola_id=9)

### 1.2 Zpracování půdy

Zemědělství je považováno za jednu z nejstarších lidských činností, která člověku umožnila měnit podobu krajiny kolem sebe. Objevuje se v období 7 - 9 tisíc let př. n. l. Jeho prostřednictvím člověk výrazně mění své okolí a zasahuje do přírodních dějů. V průběhu dějin bylo rozvinuto mnoho různých zemědělských praktik. Způsob hospodaření se odvíjel od klimatických podmínek a úrovně technické vyspělosti společnosti, Němec et al. (2007).

Na území České Republiky přišli první zemědělci v průběhu neolitu přibližně v období 5300 – 4300 př.n.l. Obývali však pouze malé úrodné oblasti. V době bronzové se rozšiřovalo obdělávané území, především na úkor lesů. K výrazné změně došlo až ve středověku s růstem lidské populace. V průběhu 11. - 13. století byla značná část území budoucí České republiky proměněna na zemědělskou krajinu. Proces přetváření krajiny pokračoval s rostoucí populací i ve vrcholném středověku a raném novověku (13. - 16. století). V období vrcholného středověku (13. - 15. století) a počátkem novověku (15. - 16. století) nastal společenský, kulturní a technický rozkvět. Započal proces, který utvářel krajinu a do jisté míry se odráží i na její současné podobě. K výrazné změně ve využívání krajiny došlo počátkem 20. století s nástupem těžké zemědělské techniky. Tento proces se nazývá industrializace zemědělství. Od druhé poloviny 20. století jsou ve velké míře

využívána umělá hnojiva a chemické ošetřující prostředky. Zároveň došlo ke spojování jednotlivých polí do větších jednotných ploch. Zemědělství ztratilo regionální charakter a je v současnosti ovlivňováno na celostátní, až nadnárodní úrovni, Němec et al. (2007).

### **1.2.1 Typy zemědělských technologií**

Cílem této práce bylo porovnat vliv orby a půdoochranných technologií na přeměnu uhlíku v půdě. Orbou či půdoochrannými technologiemi se v této práci vždy myslí celý komplex postupů péče o pole. Všechny procedury v průběhu roku, nutně spojené se zvolenou metodikou a nikoli jen samotný způsob zásahu do půdy.

#### **Orba**

Anglický název pro orbu je tillage. Orba je ze zkoumaných postupů nejstarším způsobem úpravy zemědělské půdy. Ve Střední Evropě se orba jak ji známe používá už od raného středověku. Zjednodušeně řečeno jedná se o úpravu půdy taženým pluhem. Původně se jednalo o jednoduchý nástroj tažený koňmi nebo dobyt看em, který pomáhal obracet půdu, Němec et al. (2007). Současný moderní pluh představuje sofistikované technické zařízení. Moderní zemědělství využívá k orbě kromě samotného pluhu i další stoje. Orba v dnešním pojetí obnáší řadu úprav, jako jsou kypření, obracení a míšení půdy. Mechanizační prostředky pro zapracování půdy jsou hydraulicky ovládané soustavy strojů. Jejich váha se pohybuje ve stovkách kilogramů, často v rozmezí 1000 - 2000 kg a jsou taženy s použitím traktorů. Volba vhodných mechanických prostředků záleží na celkovém cíli zemědělských prací. Liší se podle plodiny, pro kterou se provádí přípravné úpravy, podle ročního období a zda se jedná o letní nebo ozimou odrůdu zvolené plodiny. Při volbě postupů se přihlíží k vlhkosti zpracovávané půdy, její zrnitosti a topografii terénu. Různé způsoby orby rozlišujeme podle hloubky zásahu, od 10 cm pro mělkou orbu po hloubku přes 30 cm pro velmi hlubokou orbu, Hůla et al. (2009).

Účelem orby a dalších polních prací s ní spojených je příprava pole k setí a vytvoření vhodných podmínek pro chystané plodiny. Orbou je možné upravovat fyzikální a chemické vlastnosti půdy, například provzdušnění či strukturu. Umožňuje zapravovat posklizňové zbytky a hnojiva do hloubky. Orba rovněž likviduje kořenové systémy přítomných rostlin, čímž zamezuje růstu plevelů. Vystavení zoraného pole mrazu pak napomáhá likvidaci škůdců či patogenů, Walters (2009).

Nejčastější problém spojený s orbou je eroze. Svrchní horizont je odnášen větrem nebo vodou, čímž se ztrácí úrodná zemina, Javůrek et al. (2008). Další možný negativní vliv orby je ztráta organické hmoty a ztráta úrodnosti. V průběhu orání se svrchní horizont půdy vykrojuje a obrací o 180°. Horní vrstva půdy se orbou rozruší a provzdušní. Organický materiál, který se před orbou nacházel na povrchu pole, se zapraví do hloubky. V důsledku tak orba napomáhá zvýšenému dýchání mikroorganismů a urychluje tím mineralizaci půdy, Vrba et al. (2006).

## **Půdoochranné technologie**

Anglický název pro půdoochranné technologie je conservation tillage. Pojmem půdoochranné technologie se souhrnně označuje soubor zemědělských postupů, jejichž snahou je omezit zásahy do půdy.

Původně byly vyvinuty v USA ke snížení eroze zemědělské půdy, Blevins a Frye (1993). Ta představuje v USA rozsáhlý problém, a nejvíce ohrožena jsou pole založená v místech původních prérií. Obzvláště kritická situace byla ve 30. letech 20. století, kdy písečné bouře vzniklé odnosem částic z polí způsobovaly velké hospodářské ztráty. Důsledkem hospodářských ztrát pak byl rozvoj nových způsobů obdělávání půdy, které by zamezily ztrátám úrodného horizontu, Baveye et al. (2011).

Podstatou půdoochranných postupů je omezování zásahů do půdního horizontu a tím snižování eroze. Pro půdoochranné technologie je typické ponechání rostlinných zbytků na povrchu pole, nebo blízko povrchu, Blevins a Frye (1993). Jako půdoochranné technologie se někdy můžou označovat nejenom protierozní postupy, ale i opatření, jenž se snaží zamezit jakékoliv degradaci půdy, Lal a Kimble (1997).

Existuje více různých půdoochranných postupů, ale pro potřeby této práce jsou představeny dva směry: minimalizace a bezzásahová technologie, Blevins a Frye (1993).

## **Minimalizace**

Anglický název pro minimalizaci je reduced tillage. Podstatou minimalizačních technologií je snížení hloubky zemědělských zákroků a nahrazení, sloučení nebo vypuštění určitých polních prací oproti klasické orbě, například sloučení orby s předseťovými

přípravami půdy. Nižší hloubku zásahů je možné docílit mělkou orbou nebo tím, že se nahradí orba kypřením. Posklizňové zbytky jsou při minimalizačních postupech částečně zapravené do svrchního půdního horizontu. Výhodou minimalizační technologie je rychlejší vytvoření rostlinného porostu. To je možné díky zkrácení doby nutných předseťových úprav. Slučování polních prací rovněž snižuje počet přejezdů zemědělské techniky po polích během prací, což může pomoci snížit utužení zemědělské půdy. Zároveň je, oproti orbě, použití minimalizační technologie méně energeticky i finančně náročné, Hůla et al. (2003).

## **Bezzásahové technologie**

Anglický název pro bezzásahové technologie je no-tillage, nebo direct drilling. Bezzásahové technologie, označované rovněž jako systémy bez zpracování půdy, představují zemědělské postupy, při nichž se půda před setím nezpracovává. Seje se přímo do nezpracované půdy za použití specializovaných secích strojů. Zavedení tohoto postupu do praxe znamená pro zemědělce investici, protože vyžaduje jinou zemědělskou techniku, než se používá u orby. Půda se narušuje cíleně v místech, kde jsou zasazeny jednotlivé rostliny a jen do hloubky několika centimetrů. Veškeré rostlinné zbytky zůstávají na poli jako strniště a sláma. Tím se od polí obdělávaných minimalizací a orbou vzhledově viditelně liší. Pole obdělávaná bezorebnými postupy jsou často více náročná na postřiky herbicidy, protože tato technologie umožňuje snadnější šíření plevelu, Hůla et al. (2003).

### **1.2.2 Porovnání zemědělských technologií**

Důvody používání půdoochranných technologií spočívají především v jejich příznivém vlivu na půdu a její úrodnost. Všechny zemědělské technologie také mění fyzikální a chemické aspekty půdy, mají dopad na půdní vlhkost, teplotu a půdní strukturu, Kladivko (2001). Vliv půdoochranných technologií se však od vlivu orby výrazně liší. Pole upravovaná půdoochrannou technologií více zadržují půdní vláhu, Cantero-Martínez et al. (2007), mají nižší ztráty půdní organické hmoty a jejich celkový obsah organické hmoty je více koncentrovaný u povrchu, Urlich et al. (2010). Méně podléhají půdní erozi a utužování půdy.

Existují však i významná omezení. Tyto technologie by se měly používat, jen pokud jsou příhodné pro daný typ půdy a pro zvolenou plodinu. Organická hmota z rostlinných zbytků a hnojiva zůstávají v povrchové vrstvě a obtížně se dostávají do větších hloubek.

Při půdoochranných technologiích je potřeba dbát na střídání plodin, zajistit dostatek živin a bedlivě sledovat šíření a výskyt plevelů, Hůla et al. (2003). Z tohoto hlediska kladou půdoochranné technologie větší nároky na postřiky než orba. Mohou napomáhat šíření plevelů, houbových chorob a škůdců.

Obecně se půdoochranné postupy nedoporučují pro zamokřená a velmi utužená pole, stejně tak pro těžší typy půdy. Naopak jsou vhodné pro lehčí typy půdy a pro sušší a teplejší oblasti, kde se může nejvíce projevit protierozní účinek a lepší hospodaření s vodou, Hůla et al. (2003).

Každá půdoochranná technologie přináší výhody i nevýhody. Její volba je ovlivněna klimatickými podmínkami v dané oblasti, typem a stavem půdy, účelem polních prací a zvolenou plodinou, Hůla et al. (2003).

Experimentální plochy sledované v této práci nabízejí srovnání všech tří typů zemědělských technologií popisovaných v této kapitole. Třetina experimentálního pole je obdělávána orbou, třetina minimalizací, při níž se zasahuje do svrchního horizontu do hloubky 10 cm. Poslední třetina pole je obdělávána systémem bez zpracování půdy - bezzásahovou technologií (Více viz kapitola 2.1).

## **Poznámka k anglickému pojmenování**

Pro zemědělské technologie se neustanovilo jednotné pojmenování, použití jednotlivých termínů se odvíjí od zavedené praxe. Slovo orba se překládá jako „tillage“, ale u alternativních postupů existuje více překladů. Půdoochranným technologiím, rovněž zjednodušeně označovaných jako ochranné zemědělství, odpovídá anglický výraz „conservation-tillage“. Samotný výraz minimalizační technologie se někdy překládá jako „minimum-tillage“ nebo „reduced-tillage“. Pro bezzásahové technologie se v Severní Americe používá výraz „no-tillage“, Blevins a Frye (1993), oproti tomu ve Velké Británii je obvyklý termín „direct-drilling“. V českém názvosloví se někdy používá i termín „přímé setí“, Hůla et al. (2003).

## **1.3 Půda**

Půdní struktura je daná prostorovým uspořádáním půdních částic. Je výsledkem procesů, při kterých se částice shlukují do agregátů, nebo se agregáty rozpadají v závislosti na tom, jaké podmínky působí na půdu. Struktura je ovlivněná zrnitostí a chemickým složením částic půdy. Působí na ní vnější vlivy a přítomnost organických látek v půdě spolu s činnostmi mikroorganismů. Charakteristiky určující půdní strukturu, indikátory půdní kvality, mají zásadní vliv na úrodnost, i na život půdní bioty, Kay a Angers (2000).

### **1.3.1 Úrodnost**

Úrodnost je schopnost půdy poskytovat podmínky pro růst rostlin a souvisí s její kvalitou. Člověk ji dokáže ovlivňovat zemědělskými pracemi. Úrodnost závisí na souboru fyzikálních, chemických a biologických vlastností půdy, které určují její produkční schopnosti a pomáhají definovat půdu z hlediska prostředí pro živé organizmy. Stejné charakteristiky, které popisují úrodnost půdy, jsou důležité i pro život půdní mikroflóry. Úrodnost se u jednotlivých půdních typů liší. Stav půdy jako takový je důležitý jak pro zemědělce, tak i pro popis půdního prostředí, Pokorný et al. (2007), Javůrek et al. (2010).

Na půdu se může nahlížet z různých aspektů. Existuje množství ukazatelů vlastností půdy. Pro účely této práce jsou zmíněny pouze ukazatele pomáhající vystihovat úrodnost, Javůrek et al. (2010).

### **1.3.2 Fyzikální ukazatele kvality půdy**

Fyzikální ukazatele kvality půdy popisují půdní strukturu, složení a pohyb anorganických prvků půdy, Pokorný et al. (2007), Javůrek et al. (2010).

### **Objemová hmotnost půdy**

Objemová hmotnost půdy je hmotnost půdy v neporušeném stavu v definovaném objemu. Obvykle se udává v  $\text{g cm}^{-3}$ . Tato veličina závisí na aktuálním stavu, v jakém se nachází zkoumaná půda a může se s časem měnit. Odráží obsah vody a vzduchu v pórech, Pokorný et al. (2007), Javůrek et al. (2010).

## **Redukovaná objemová hmotnost půdy**

Redukovaná objemová hmotnost půdy je hmotnost půdy v neporušeném stavu v definovaném objemu po vysušení při teplotě 105 °C. Popisuje půdu bez vody. Redukovaná objemová hmotnost je stabilnější veličina, než objemová hmotnost. Pro většinu půd se pohybuje v rozmezí 1,2 - 1,8 g cm<sup>-3</sup> a liší se podle půdního typu. Jak objemová hmotnost, tak redukovaná objemová hmotnost se zjišťují laboratorně, z neporušených vzorků půdy odebraných metodou Kopeckého válečků (Popis viz kapitola 2.4), Pokorný et al. (2007), Javůrek et al. (2010).

## **Pórovitost půdy**

Tato veličina popisuje celkovou pórovitost půdy a udává se v procentech. Představuje celkové množství prostoru mezi částicemi půdy, ať už vyplněných vodou nebo vzduchem. V praxi je obtížné ji změřit přímou metodou a vypočítává se z podílu objemové a redukované objemové hmotnosti. Čím jsou hodnoty pórovitosti nižší, tím se půda považuje za víc utuženou. Limitní hodnoty indikující nevyhovující stav půdy se pohybují mezi 38 - 48 %. Pórovitost půdy se u různých půdních typů výrazně liší, Javůrek et al. (2010).

Výše uvedené veličiny, objemové hmotnosti a pórovitost, popisují stav půdní struktury. Ukazují na poměr pevných částic, vody a vzduchu v půdě. Látková přeměna a biologické děje probíhají na rozhraní těchto tří složek. Kromě procenta pórů jako takového je pro složení půdy významná jejich velikost, která určuje pohyb vody a vzduchu v půdě. Velikostně jsou póry rozdělené na kapilární, semikapilární a nekapilární. V nejmenších kapilárních pórech je voda vázána k pevným půdním částicím kapilárními silami a vzduch je omezen v pohybu. Jejich pomyslný velikostní protipól tvoří nekapilární póry. V těchto půdních prostorech se mohou voda a vzduch volně pohybovat a jsou ovlivňovány gravitační silou. V pórech o semikapilární velikosti ovlivňují vodu gravitační i kapilární síly. Pro kvalitní půdu je žádoucí, aby nekapilární póry představovaly třetinu z celkové pórovitosti a kapilární a semikapilární póry tvořily zbylé dvě třetiny, Javůrek et al. (2010).

## **Maximální kapilární vodní kapacita**

Tato veličina umožňuje ukázat složení pórovitosti půdy. Maximální kapilární vodní kapacita popisuje nasycenost kapilárních pórů vodou a vyjadřuje se v procentech, Javůrek et al. (2010).



### **1.3.3 Chemické ukazatele kvality půdy**

Soubor chemických ukazatelů kvality popisuje půdy z hlediska složení. Pro zemědělství je významný obsah jednotlivých prvků a látek, zejména obsah živin. Dále hodnota pH půdy, která ovlivňuje mikroflóru. Z hlediska rizik jsou sledovány například hodnoty salinity půdy, nebo přítomnost kontaminantů, jak organických, tak anorganických, například těžkých kovů, Pokorný et al. (2007), Javůrek et al. (2010).

### **1.3.4 Biologické ukazatele kvality půdy**

Tyto ukazatele zahrnují charakteristiky spojené s aktivitou mikroorganismů v půdě a složení organické hmoty v půdě, Mikanová et al. (2010).

#### **Celková mikrobiální biomasa**

Celková biomasa mikroorganismů v půdě představuje celkový obsah mikroflóry v půdě bez určování druhu. Při jejím počítání se vychází z určení obsahu biogenní složky společné všem živým organismům, obvykle uhlíku. Obsah celkové biomasy mikroorganismů se tak může vyjádřit v miligramech na jednotku hmotnosti půdy. Tato charakteristika je považovaná za důležitý ukazatel kvality půdy, protože mikroorganismy citlivě reagují na změny. Dobře rozvinutá mikroflóra je žádoucí, naopak při zátěži půdy nevhodnými kontaminanty počty mikroorganismů klesají, Mikanová et al. (2010)

#### **Enzymatická aktivita**

Tato charakteristika je těsně spjatá se stavem mikroorganismů a odráží jejich činnost. Enzymatická aktivita se vyjadřuje pomocí obsahu enzymů v jednotce hmotnosti půdy. Pro tento účel se stanovují aktivity enzymů společných většině mikroorganismů indikující základní metabolické pochody. Obvykle se určuje aktivita dehydrogenázy, ureázy a invertázy, Mikanová et al. (2010).

#### **Aktivita dehydrogenázy**

Dehydrogenázy katalyzují přenos vodíku v průběhu dýchacího řetězce. Jsou to endogenní enzymy a jejich produkce citlivě odráží stav půdy. Aktivita dehydrogenáz se obvykle vyjadřuje nepřímo prostřednictvím koncentrace formazanu na jednotku hmotnosti půdy. Formazan je látka vznikající v průběhu laboratorního měření v závislosti na aktivitě

dehydrogenáz. Může se vyjádřit i relativně v procentech porovnáním vzorků půd s kontrolou. Invertázy katalyzují hydrolýzu sacharózy a spolu s dehydrogenázami se podílejí na koloběhu uhlíku, Mikanová et al. (2010).

### **Aktivita ureázy**

Ureázy katalyzují rozklad močoviny a ovlivňují tak koloběh dusíku. Jsou považovány za enzymy, který jsou z části extracelulární a v půdě stabilní, Mikanová et al (2010).

### **Obsah organického uhlíku**

Celkový obsah organického uhlíku je veličina ukazující celkové množství všech organických látek v půdě. Vyjadřuje se procentuálně, Mikanová et al (2010).

### **Organická půdní hmota**

Organické látky se do půdy dostávají z odumřelých částí rostlin. V případě sledované experimentální lokality se jedná o posklizňové zbytky, které byly ponechány na poli nebo zapraveny do půdy. Mikroorganismy využívají rostlinné zbytky jako zdroj potravy ke stavbě svých těl a rozkládají je až na jednoduché anorganické látky, Beare et al. (1994). Tento proces se označuje jako mineralizace. Uvolněné anorganické látky mohou posléze znovu využívat rostliny. Mluvíme o nich jako o živinách. Paralelně s tímto rozkladným procesem probíhá v půdě i proces opačný, polymerizace organických látek a ukládání organické hmoty ve formě humusu, takzvaná humifikace, Vrba a Huleš (2006).

Pojmem humus se souhrnně označuje soubor všech organických látek v půdě, přičemž se nerozlišuje, zda jsou rostlinného nebo mikroorganického původu. Organické látky v humusu můžeme rozdělit na dvě skupiny. Jednu skupinu představují primární sloučeniny o nízké molekulové hmotnosti, které jsou mikroorganismy přeměňované na anorganické sloučeniny v rámci mineralizačních procesů. Druhou skupinu tvoří sekundární organické polymery označované jako huminové látky. Tyto komplexy jsou stálé a tvoří součást půdní struktury, Vrba a Huleš (2006).

Humus významným způsobem ovlivňuje strukturu půdy a kvalitu půdy. Představuje zásobárnu uhlíku, pomáhá při agregaci, ovlivňuje chod teplot a vlhkost půdy a působí jako

pufr. Příznivým způsobem ovlivňuje rostliny. Humus představuje zásobárnu živin, podílí se na zadržování vody a usnadňuje rozvoj kořenové soustavy rostlin.

O kvalitě humusu vypovídá poměr huminových kyselin a fulvokyselin a celkový poměr uhlíku a dusíku. Liší se podle půdních typů a může být ovlivněn zemědělskými pracemi. Ubývání humusu je považováno za negativní jev, kterému se snaží zemědělci zamezit, Vrba a Huleš (2006).

## **Huminové látky, huminové kyseliny**

Jako huminové látky se označuje směs přírodních organických polymerů. Nacházejí se nejen v půdě, ale i v hnědém uhlí a v rašelině. Tvoří výraznou součást půdního humusu a organické hmoty v půdě jako takové. Jedná se o koloidní amorfní sloučeniny, vyznačující se složitou a variabilní strukturou. Jsou tvořeny sítí aromatických jader, heterocyklů a alifatických řetězců doplněných funkčními skupinami. Obecně platí, že se huminové látky rozpouští v alkalickém prostředí a srážejí se v kyselém prostředí. Neurčují se jako chemická individua. Tyto směsi se rozlišují podle rozpustnosti v různých prostředích a podle obsahu uhlíku. Obvykle se rozlišují dvě skupiny, huminové kyseliny a fulvokyseliny. Huminové kyseliny se srážejí v kyselém prostředí, obsah uhlíku se pohybuje kolem 53 % až 65 %. Fulvokyseliny zůstávají v kyselém prostředí rozpuštěné. Jejich obsah uhlíku nepřesahuje 50 %. Obsahují méně aromatických kruhů a více karboxylových skupin a vyznačují se nižší molekulovou hmotností oproti huminovým kyselinám, Schnitzer a Khan (1972). Poměr obsahu huminových kyselin a fulvokyselin v půdě je považován za jeden z ukazatelů kvality půdy. Velký obsah huminových kyselin je považován za ukazatel dobrého stavu humusu. Přesný přechod mezi huminovými kyselinami a fulvokyselinami není stanoven, Pokorný et al. (2007).

### **1.4 Oxid uhličitý**

Oxid uhličitý (molekulový vzorec  $\text{CO}_2$ ) je bezbarvý plyn bez zápachu. Jedná se o látku s jednoduchou molekulovou strukturou, která se přirozeně vyskytuje ve všech prostředích. Po dusíku, kyslíku a argonu je čtvrtým nejvíce zastoupeným plynem v atmosféře, Barry a Chorley (2003). Tvoří důležitou součást koloběhu uhlíku a účastní se i geologických procesů. Pro život na Zemi je nepostradatelný především proto, že je jednou ze základních látek při procesu fotosyntézy.

Zdroje CO<sub>2</sub> se dělí podle původu na přirozené a antropogenní. Přirozeně se tento plyn do atmosféry dostává při geologických procesech, především díky vulkanické činnosti, nebo jako důsledek dýchaní živých organismů. Lidskou činností se CO<sub>2</sub> uvolňuje do atmosféry především při spalování fosilních paliv a při globálních změnách ve využívání krajiny, IPCC (2007).

## **Oxid uhličitý v atmosféře**

Aktuální koncentrace CO<sub>2</sub> v suchém vzduchu se udává  $379 \pm 0,65$  ppm, Forster et al. (2007). Skutečný obsah CO<sub>2</sub> osciluje v závislosti na rozvoji vegetace. Tyto výkyvy je možné zaznamenat velmi přesným měřením, Moldan (2009).

I když je obsah CO<sub>2</sub> v atmosféře zdánlivě nízký, jeho přítomnost má mimořádný význam, protože se podílí na energetické bilanci atmosféry. Oxid uhličitý, spolu s vodní párou, methanem, oxidy dusíku a dalšími plyny, se podílí na jevu označovaném jako skleníkový efekt. Souhrnně jsou tyto plyny nazývané skleníkovými plyny. Skleníkové plyny jsou součástí radiačních procesů, které se odehrávají v atmosféře a podílejí se na vytváření zemského klimatu. Tento proces, při kterém v atmosféře dochází ke zpětnému odrazu dlouhovlnného záření vyzářeného Zemí do kosmu, je přirozený. Skleníkový efekt je komplexní jev, při kterém hraje roli řada faktorů, od sluneční konstanty po koncentraci skleníkových plynů, Barry a Chorley (2003). V posledních letech je této problematice věnována velká pozornost.

Významnou roli ve skleníkovém efektu hraje také vodní pára. Její koncentraci ovšem nemůžeme příliš ovlivnit. Ostatní skleníkové plyny jsou spjaté s lidskou činností. Diskusi vyvolává především nárůst obsahu skleníkových plynů v důsledku lidské činnosti, který bývá spojován s globální klimatickou změnou. Tento nárůst je považován za negativní jev. Řada států proto vyvíjí snahu omezit, nebo snížit produkci skleníkových plynů, IPCC (2007).

Od průmyslové revoluce se prokazatelně zvýšil obsah CO<sub>2</sub> v atmosféře. Tento nárůst je spojován s lidskou činností. Nejčastěji se hovoří o spalování fosilních paliv, ovšem významný podíl na antropogenním nárůstu CO<sub>2</sub> má i zemědělská činnost, IPCC (2007).

Možnosti jak, snížit koncentraci CO<sub>2</sub>, jsou velmi omezené. Neexistuje technický postup použitelný v globálním měřítku, který by umožnil ukládání CO<sub>2</sub>. Na druhou stranu ukládání CO<sub>2</sub> v půdě je přirozený proces. Mikroorganismy v půdě dokáží při své činnosti přeměnit organické látky tak, že zůstávají vázané v půdě. Protože rostliny k vytvoření organických látek zachytávají atmosférický CO<sub>2</sub>, nabízí tento koloběh možnost vyvážení CO<sub>2</sub> z atmosféry. Pokud ukládání uhlíku v půdě převažuje nad jeho uvolňováním při respiraci mikroorganismů, dochází ke snižování koncentrace CO<sub>2</sub> v atmosféře. Díky velkému rozsahu hospodářsky využívaných ploch (Viz *Tabulka 1*), je možné vhodným hospodařením snížit koncentraci CO<sub>2</sub>, IPCC (2007).

Jednou z cest, jak snížit nárůst CO<sub>2</sub> je změna využití plochy, pro což máme jen omezené možnosti, převážně diktované nároky populace. Další možnost jak ovlivnit produkci CO<sub>2</sub> nabízí změna postupů při polních pracích. Rozdílné zemědělské postupy mají za následek rozdílnou produkci CO<sub>2</sub>. Je známým faktem, že plochy obdělávané klasickou orbou produkují více CO<sub>2</sub>, v porovnání s plochami obdělávanými šetrnějšími zemědělskými postupy, IPCC (2007).

## **Legislativa**

Významnou mezinárodní dohodou týkající se problematiky skleníkových plynů byla *Rámcová úmluva OSN o klimatických změnách* podepsaná v Riu de Janeiru roku 1992. Prováděcím dokumentem k této úmluvě byl *Kjótský protokol* přijatý roku 1997. V tomto dokumentu se státy Evropské unie a Česká republika zavázaly ke snížení emisí skleníkových plynů, v Protokolu uvedených.

Česká republika podepsala Kjótský protokol v roce 1998 na základě Usnesení vlády č. 669 ze dne 12. 10. 1998 a ratifikovala ho v roce 2001. Ochrana klimatu byla integrována do Státní politiky životního prostředí. V roce 1999 vláda schválila samostatný dokument Strategie ochrany klimatického systému Země v ČR (Usnesení vlády ČR č. 480/1999), který zařazoval ochranu klimatu mezi prioritní problémy životního prostředí. Ten ukládal jednotlivým resortům úkoly, které by měly vést ke splnění cílů Kjótského protokolu. V roce 2004 byl vládou schválen Národní program na zmírnění dopadů změn klimatu.

## 2 Materiál a metodika

### 2.1 Popis lokality

Polní pokus probíhal na experimentálních pozemcích Výzkumného ústavu rostlinné výroby, v. v. i. (50°5'20.015"N, 14°17'59.757"E). Klima odpovídá řepařské výrobní oblasti, roční srážkový úhrn je 472 mm, roční průměrná teplota 7,9 °C, půda je hnědozem na spraši. Sledovaná pole byla od roku 1995 nepřetržitě obdělávána stejnými zemědělskými postupy. Jedná se o tři různé zemědělské praktiky: orba, minimalizace a bezzásahová technologie (Viz kapitola 1.2.1).

V případě orby se převrací vrchní část půdy do hloubky cca 22 cm a veškeré organické zbytky se zapravují pod povrch. Při minimalizaci se pole obdělává kypřením tak, že se zasahuje pouze do svrchních 10 cm půdy. Posklizňové zbytky zůstávají na poli a částečně jsou zapraveny do země. V případě bezzásahové technologie narušení povrchu spočívá pouze v přípravě setového lůžka a to do hloubky 2 - 3 cm. Po sklizni strniště, sláma a veškeré organické zbytky zůstávají na poli a nejsou odklizeny ani zapravovány do země.



Obrázek 1. Vzhled polí po sklizni, z leva doprava: orba, minimalizace, bezzásahová technologie.

Zdroj: Vlastní foto, 22. října 2010

Jedná se o dvě pole o rozloze cca 1 ha. Každé z nich je rozděleno na tři paralelní pruhy široké 12 m. Pro každý pracovní postup je vymezen jeden pruh. I když se na polích střídají plodiny, zemědělské postupy se pro jednotlivé pruhy nemění. Jedno z experimentálních polí je vždy oseto pšenicí a druhé přípravnou plodinou nebo řepkou. Na kterém poli je vyseta ozimá pšenice a na kterém přípravná plodina, se pravidelně každý rok střídá. Vývoj plodin na jednom z polí byl následující: tolíce vojtěška (*Medicago sativa*)

v letech 1995 a 1996, pšenice setá - ozimá odrůda (*Triticum aestivum*) v letech 1997, 1998, 2000, 2002, 2004, 2006, 2008 a 2010, ječmen setý - jarní (*Hordeum vulgare*) v roce 2003, řepka olejka - ozimá (*Brassica napus*) v letech 2005 a 2009, a v letech 1999, 2000 a 2007 hrách setý (*Pisum sativum*). Protože by polní pokus pšenici poškodil, provádělo se měření produkce oxidu uhličitého vždy na poli s přípravnou plodinou. V roce 2010 byla přípravnou plodinou na ploše, na které byla prováděna měření, řepka olejka. V roce 2011 hrách setý.

## 2.2 Terénní měření toku $CO_2$ z půdy

Sledované pole bylo rozdělené na tři pruhy, každý z nich obdělávaný jinou zemědělskou technikou: orbou, minimalizací a bezzásahovou technologií.



*Obrázek 2.* Rozložení měřicí sestavy na experimentálních plochách při zapojení všech 3 komor, uprostřed spektrometr a multiplexor. Uspořádání pruhů obdělávaných různými zemědělskými postupy z leva doprava: orba, minimalizace, bezzásahová technologie. Zdroj: Vlastní foto, 9. dubna 2010

Množství produkovaného oxidu uhličitého se měřilo přístrojem Li-8100 od amerického výrobce LI-COR. Měřicí sada byla přenosná a skládala se z infračerveného spektrometru, multiplexoru a třech měřicích komor, které byly s multiplexorem propojené hadicemi. Přípojné hadice byly dlouhé 15 m, což určovalo poloměr okruhu, do kterého bylo možno umístit komory. Pracovní sestavu doplňoval počítač a autobaterie jako zdroj elektrické energie. Jádrem sestavy byl infračervený spektrometr IRGA (Infra Red Gas Analyzer - infračervený plynový analyzátor), který průběžně analyzoval přiváděný vzorek plynu a zaznamenával výsledky na paměťovou kartu. IRGA dokázal fungovat v prostředí s obsahem  $CO_2$  do ppm 20000, koncentrace měřené v průběhu experimentu byly v operačním rozmezí přístroje. Pro více paralelních měření byl v sestavě mezi IRGA a komorami zapojený multiplexor; zařízení, které střídavě přivádělo zkoumaný plyn z jednotlivých stanovišť. Používaný multiplexor Li-8150 dokázal pracovat až s 8 měřicími zařízeními. Samotný průběh střídání pak řídil počítač. Stejnou měřicí sestavu používali, například Zhang et al. (2012). Srovnání s jinými měřicími systémy: Heinemeyer a McNamara (2011).



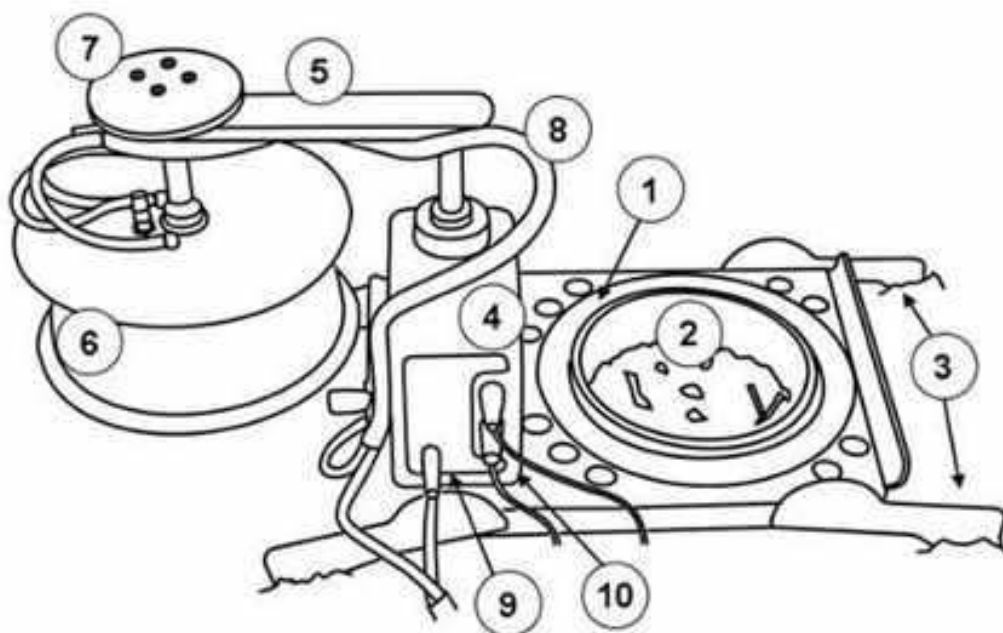
*Obrázek 3.* Měřicí sestava: 1 - spektrometr, 2 - multiplexor, 3 - počítač, 4 - skruž.  
Zdroj: Vlastní foto, 9. dubna 2010



*Obrázek 4.* Měřicí komora nasazená na skruž  
Zdroj: Vlastní foto, 9. dubna 2010

Používaly se tři měřicí komory, pro každý pruh jedna. Měřicí komora se nasazovala na skruž o známém průměru, zapuštěnou do země. Zařízení komory bylo posazené na kovové desce, v níž byl otvor s gumovým těsněním o průměru odpovídajícímu velikosti příslušné skruže. Deska stála na nastavitelných nohách, které vyrovnávaly nerovnosti terénu v bezprostřední blízkosti skruže. Díky těmto nohám mohla být komora vždy správně nasazená. Zařízení měřicí komory se skládalo z motoru s hydraulickým ramenem, k němu připojené měřicí komory ve tvaru polosféry a senzorů v ní zabudovaných. Tato polosféra byla krytá kovovým talířem a patentním zařízením ve tvaru dvou vodorovných disků, které napomáhalo vyrovnat tlak po nasazení komory na skruž. Vyrovnání tlaku bylo důležité pro přesnost měření. Celé měřicí zařízení se nasazovalo na skruž, která vymezovala plochu zkoumané půdy. Kromě obsahu plynu zaznamenávalo zařízení i teplotu komory a relativní vlhkost vzduchu v komoře. Navíc bylo možné k zařízení připojit senzory pro měření teploty a vlhkosti půdy (Viz *Obrázek 5*).





*Obrázek 5. Schematický náčrt měřicí komory: 1 - kovová deska, 2 - skruž, 3 - nastavitelné nohy, 4 - motor, 5 - hydraulické rameno, 6 - měřicí komora s kovovým talířem a senzory, 7 - disky na vyrovnávání tlaku, 8 - hadice odvádějící plyn, 9 - připojení elektrického zdroje, 10 - připojení externích senzorů*

Zdroj: Vlastní náčrt

Během měření byla měřicí komora pomocí ramene usazená na skruži. Vzniklo tak uzavřené prostředí, ve kterém vzrůstal obsah  $\text{CO}_2$  produkovaný mikroflórou v půdě. Směs plynů byla vedena hadicí k IRGA, který zaznamenával změnu koncentrace  $\text{CO}_2$  v čase. Po uzavření komory se uvnitř polosféry nejprve vyrovnalo prostředí. Potom koncentrace oxidu uhličitého v uzavřené komoře narůstala. Maximální délka měřeného intervalu byla 2,5 minuty. Při delším měření by došlo k nasycení vzduchu  $\text{CO}_2$ , proto vždy bylo po 2,5 minutách měření ukončeno a zařízení skruž odkrylo. Pro výpočet výsledku byly brány údaje zaznamenávané zařízením od 15 do 150 vteřiny měření. Vyhodnocovala se data kontinuálního nárůstu  $\text{CO}_2$  v průběhu měřeného intervalu. Výsledek se počítal automaticky. Ze známé velikosti měřené plochy se počítala koncentrace  $\text{CO}_2$  v ppm za sekundu na metr čtvereční.

Změřená koncentrace  $\text{CO}_2$  byla snížena o koncentraci  $\text{CO}_2$  v atmosféře, kterou přístroj také automaticky zaznamenával. Výstupem každého měření byly vypočtené hodnoty koncentrace  $\text{CO}_2$  a soubor naměřených hodnot ze kterých byly dané výsledky spočteny. Soubor naměřených hodnot sloužil ke kontrole správnosti počítaných výsledků. Po každém měření byly přívodové hadice 45 vteřin odvětrávány, aby nedocházelo k mísení plyných

vzorků a aby se zamezilo kondenzaci vodní páry v hadici. Jeden měřicí cyklus od nasazení komory po její otevření trval cca 4 minuty. Po provětrání hadic mohl automat spustit další měření.

Na každém pokusném pruhu pole byly rozmístěny čtyři skruže, a pro každou skruž byla provedena dvě opakování měřicího cyklu v každý měřicí den.

Po každém uskutečněném polním pokusu se vždy v blízkosti jednotlivých skruží odebraly vzorky půdy k laboratornímu stanovení půdní vlhkosti. Takto získané údaje reprezentovaly aktuální stavy jednotlivých měřicích oblastí. K odběru vzorků se používala pedologická sondýrka.

Byla snaha provádět polní měření v pravidelných týdenních intervalech v pátek od 10 do 14 hodin. Pokud se pokus neuskutečnil v pátek (důvody viz dále v tomto odstavci), byl odsunut na nejbližší možný vhodný termín. Při rozsáhlých deštích, nebo po nich bylo nemožné provádět měření kvůli obtížím v terénu. V praxi se ukázalo ještě jedno omezení spojené s počasím, kdy silný vítr komplikoval automatické měření. Některé naměřené hodnoty byly zjevně chybné a tudíž byly vyloučeny z dalšího vyhodnocování. Pro vyhodnocení takového větrného dne se pak použily výsledky, naměřené ten den na problematické skruži při ostatních opakování a výsledky z ostatních skruží. Za možnou příčinu chyby měření byla považována špatná těsnost měřicích komor.

Začátek a konec každé měřicí sezóny určovaly polní práce. Pro potřeby měření bylo nutné mít v poli umístěné plastové skruže. Ty se mohly umístit až po završení veškerých přípravných prací používajících těžké techniky. Stejně tak se skruže musely odstraňovat před sklizní. Sběr dat proto začínal na jaře při oteplení, nebo po vysetí plodiny a pokračoval po dobu jejího růstu. V případě řepky olejky byl polní experiment ukončen na konci května - začátku června. V té době byl porost řepky již příliš vysoký a hustý, a proto do něj nebylo možné umístit měřicí techniku. Po sklizni a následných úpravách půdy (orbě nebo zasetí ozimních kultivarů) se skruže znovu umístily na pole a sběr dat pokračoval do pozdního podzimu. Během vegetačního klidu, kdy teplota klesla pod 4 °C, se respirace neměřila.

Tak jako veškeré zemědělské práce, i měření bylo závislé na počasí v daném roce. Na poli, kde probíhal polní pokus v letech 2009 a 2010 byla pěstována řepka olejka. Jednalo

se o ozimou odrůdu, která se obvykle zasévala v půlce srpna. V roce 2009 se oralo 12. srpna. V důsledku mimořádného sucha na konci léta roku 2009 vyklíčila řepka později než v předchozích letech a hlavní nárůst biomasy proběhl v listopadu. Zimu přežily slabší a menší jedinci, než je obvyklé. Březen 2010 se vyznačoval relativně teplým počasím na počátku měsíce a související obilnou. Dále následným prudkým ochlazením beze srážek, takzvanými holomrazy, které zničily většinu populace ozimé řepky na pokusném poli. Náhradní rostlinou byla jarní odrůda řepky. Díky agronomickým pracím a další nepřízní počasí (např. vytrvalému dešti) došlo k celkovému posunu zamýšlených prací, včetně sklizně plodin. Oralo se 6. září. Pro rok 2011 byl jako vhodná plodina zvolen hrách setý.

## **2.3 Celodenní měření**

K zjištění průběhu intenzity respirace během dvaceti čtyř hodin se 11. května 2011 uskutečnilo celodenní měření obsahu  $\text{CO}_2$ . Technicky se postupovalo stejně jako při průběžném měření s následujícím rozdílem. Na každém pruhu pole byla zvolena jedna skruž, na které byla umístěna komora po celý den. Měření tedy ukazovalo průběh intenzity respirace během jednoho dne v těchto zvolených skružích. Pro celodenní pokus byly zvoleny skruže uprostřed pruhu jako reprezentativní vzorek. Zdrojem elektrické energie byly 3 autobaterie. Při jejich výměně vždy došlo ke krátkému přerušení měření. Měření probíhalo 24 hodin. Začátek byl přibližně v 9:30 ráno.

## **2.4 Odběr vzorků pro laboratorní analýzy**

Ve VÚRV se vzorky půdy určené pro laboratorní analýzy odebíraly každý rok v druhé polovině května. Pro účely této práce byly použity vzorky odebrané 17. května 2011.

Na pokusném poli byla vybrána 3 odběrová stanoviště v každém pruhu. Jednotlivá místa odběru byla mezi sebou a od kraje pole vzdálena minimálně 15 metrů, a byla náhodně rozmístěna tak, aby představovala různé polohy v rámci pole. V každém měřeném místě se odebíraly vzorky, které představovaly vrstvu půdy do hloubky 10, 20 a 30 cm.

### **2.4.1 Odběr vzorků metodou Kopeckého válečků**

Metoda Kopeckého válečků slouží k odběru vzorků pro účely laboratorního stanovení fyzikálních vlastností půdy. K odebrání vzorků touto metodou se použily kovové válce o přesném objemu  $100 \text{ cm}^3$ . Válec byl vložen do nástavce podobného tvaru s ostrým

spodním okrajem, který umožňoval zavrtání do země. Před samotným odběrem se na vybraném místě odstranil rostlinný pokryv na povrchu země. Váleček s násadou se pak zatlačil několik centimetrů pod povrch, čímž se docílilo odebrání zeminy uprostřed požadované vrstvy 0 - 10 cm. Poté se vedle místa odběru lopatkou opatrně odstranilo horních 10 cm půdy tak, aby bylo možné stejný postup zopakoval pro nižší vrstvu 10 - 20 cm a následně analogicky i pro 20 - 30 cm.

Zemina přesahující okraje válce byla opatrně seřezána nožem. Takto byl zajištěn přesný objem odebraných vzorků, a po jejich vysušení při teplotě 105 °C mohla být stanovena objemová hmotnost.

## **2.4.2 Odběr vzorků pomocí pedologické sondýrky**

Odběr vzorků pomocí sondýrky se používá na získání vzorků pro chemické analýzy a stanovení mikrobiální respirace. Sondýrka je kovový nástroj ve tvaru žlabu s rukojetí, který se zavrtá do půdního profilu. Odběry se prováděly na stejných místech paralelně s předchozím případem. Po odstranění materiálu rostlinného původu na povrchu země se sondýrka zatloukla do země tak, aby byla naplněna půdním sloupcem o výšce více jak 10 cm. Poté se postupovalo podobně jako při odběru vzorku Kopeckého válečky. Vedle místa odběru se odstranilo 10 cm půdy, aby spodní odebíraný horizont nebyl ovlivněn či deformován odběrem provedeným těsně nad ním. Obdobně se pokračovalo i v případě třetího vzorku.

Vzorky byly za vlhka prosety přes síto s oky menšími než 2 mm. Vzorky pro mikrobiologické analýzy pak byly skladovány v ledničce při 10 °C po dobu tří dnů. Vzorky pro chemické analýzy byly na vzduchu usušeny a skladovány za laboratorní teploty na temném suchém místě.

## **2.5 Laboratorní postupy**

### **2.5.1 Laboratorní stanovení respirace**

Z každé části pole obdělávané jinou technologií byly odebrány pedologickou sondýrkou tři vzorky ze tří různých míst. Od každého opakování se třikrát navážilo po 100 g čisté půdy do plastových dóz. Do každé dózy se umístila kádinka s 5 ml 1M NaOH vedle vzorku půdy, a celá nádoba se hermeticky uzavřela. Takto byly vzorky inkubovány ve tmě po dobu 7 dní za stálé teploty 27 °C. Současně s měřenými vzorky byly připraveny i slepé

vzorky, které neobsahovaly vzorek půdy. Množství  $\text{CO}_2$  v každé dóze bylo určeno z množství  $\text{CO}_2$  zachyceného hydroxidem sodným. Naměřené množství  $\text{CO}_2$  ve slepých vzorcích pak představovalo obsah  $\text{CO}_2$  v atmosféře. Respirační aktivita každého vzorku byla spočtena z množství  $\text{CO}_2$  v dané dóze po odečtení atmosférického  $\text{CO}_2$ . Obsah  $\text{CO}_2$  byl stanoven titrací roztoku hydroxidu 0,25M HCl.

## 2.5.2 Stanovení mikrobiální biomasy

Obsah mikrobiální biomasy byl stanoven fumigačně-extrakční metodou podle Vance et al. (1987). Od každého odebraného vzorku se navážilo 6 opakování po 25 g. Tři opakování do 500ml plastových lahví a tři do 100ml kádinek. Do exikatoru byla vložena Petriho miska se skleněnými kuličkami a přibližně 50 ml chloroformu bez alkoholu. Nad Petriho misku se umístila děrovaná porcelánová deska přikrytá filtračním papírem důkladně navlhčeným destilovanou vodou. Na tu se poskládaly vzorky ve 100ml kádinkách. V uzavřeném a utěsněném exikatoru byl pomocí vodní vývěvy snížen tlak tak, aby došlo k varu chloroformu. Po 2 minutách varu byl kohout exikatoru uzavřen, exikator byl odpojen od pumpy a ponechán 24 hodin v laboratorních podmínkách ve tmě. Po uplynutí 24 hodin byl exikator otevřen a navlhčený filtrační papír byl, stejně jako miska s chloroformem, odstraněn. Po opětovném uzavření exikatoru byly vzorky za pomoci vodní vývěvy propláchnuty vzduchem. Celý cyklus napouštění a odsátí vzduchu se opakoval 10 krát, dokud se všechny chloroform vázaný ve vzorcích půdy neuvolnil a vzorky neztratily charakteristickou vůni chloroformu. Poté byly vzorky převedeny do 500ml plastových lahví. Tímto se získala trojice vzorků nefumigovaných, navážených do 500ml plastových lahví na začátku laboratorního experimentu a trojice vzorků fumigovaných. Získané fumigované vzorky se následně zpracovávaly stejně, jako vzorky nefumigované.

Vzorky byly zality 80 ml 0,5M  $\text{K}_2\text{SO}_4$ , uzavřené lahve se nechaly 30 minut třepat na třepačce při cca 150 kyvech/min. Jako slepý vzorek byl použit 0,5M  $\text{K}_2\text{SO}_4$  ve třech opakováních. Vzniklá suspenze se přefiltrovala přes filtrační papír. Do 100ml Erlenmeyerových baňek bylo odebráno po 8 ml zfiltrovaného roztoku. K roztoku se přidalo 1,5 ml 0,4M  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  a 15 ml směsi koncentrované  $\text{H}_2\text{SO}_4$  s  $\text{H}_3\text{PO}_4$  v objemovém poměru 1:1. Vzorky byly po dobu 45 minut zahřívány na teplotu 125 °C. Po vychladnutí byly titrovány roztokem 0,05M  $(\text{NH}_4)_2\text{FeSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  (Mohrovou solí). Jako indikátor se používalo fenantrolinové činidlo s barevným přechodem od zelené přes modrou, do červené. Roztok

Mohrovy soli se připravil tak, že se do destilované vody okyselené 20 ml koncentrované kyseliny sírové přidalo 19,608 g síranu železnatoamonného a roztok se doplnil destilovanou vodou na celkový objem 1 litr. Pro titraci byl stanoven faktor síranu železnatoamonného, který byl titrován 5 ml 0,1M  $K_2Cr_2O_7$  s 2,5 ml koncentrované  $H_2SO_4$  s fenantrolinem, jako indikačním činidlem. Dále se spočítal podíl skutečné a teoretické spotřeby. Tato úprava se projevila ve vzorci pro výpočet obsahu mikrobiálního uhlíku (1)

$$\frac{\mu g C}{g} = \frac{(V_{M,k} - V_{M,v}) * F_M * 3 * c_M * 10 * 1000}{m_S} \quad (1)$$

kde  $dS$  (neboli  $V_{M,k} - V_{M,v}$ ) je rozdíl spotřeb Mohrovy soli pro titraci vzorku a slepého vzorku,  $F_M$  je faktor Mohrovy soli, tabelovaná konstanta 3 vychází z chemické reakce jednotek,  $c_M$  je koncentrace Mohrovy soli (0,05 i s jednotkou), konstanty 10 a 1000 jsou násobky pro přepočet jednotek a  $m_S$  je hmotnost sušiny v navážce půdy.

Zkoumanými vzorky byla zemina s přirozenou vlhkostí, a vzorec byl stanoven pro sušinu, byl proto dodatečně stanoven obsah sušiny v půdě.

Dále bylo vycházeno z předpokladu, že nefumigované vzorky ukazují množství uhlíku nebiologického původu, kdežto u fumigovaných vzorků, kde chloroform rozrušil cytoplazmatické membrány půdní bioty, naměřené hodnoty zahrnují jak uhlík v biomase, tak v pozadí. Pro výpočet obsahu biomasy byl tedy obsah uhlíku ve fumigovaných vzorcích odečten od obsahu uhlíku v nefumigovaných vzorcích.

Obsah mikrobiální biomasy se vypočetl podle rovnice (2)

$$B_C = 2.64 * E_C \quad (2)$$

kde  $B_C$  je hledaný obsah biomasy,  $E_C$  představuje rozdíl v obsahu uhlíku mezi fumigovaným a nefumigovaným vzorkem a 2,64 je konstanta, která byla určena experimentálně podle srovnání výsledků stanovení mikrobiální biomasy různými metodami. Výsledek je vyjádřen v  $\mu g C g^{-1}$  suché zeminy.

### 2.5.3 Stanovení aktivity dehydrogenázy

Aktivita dehydrogenázy byla stanovena podle metody Nannipieri et al. (1990). Byly odebrány vzorky s přirozenou vlhkostí a přesety přes síto s oky menšími než 2 mm.

Od každého odebraného vzorku byla navážena 3 opakování po 6 g. Ke každému vzorku byl přidán 1 ml 3% roztoku 2,4,5-trifenyltetrazolium chloridu a 2,5 ml destilované vody. Takto upravené vzorky byly inkubovány 24 hodin při teplotě 37 °C. Dále byly vzorky filtrovány přes filtrační papír. Přefiltrované roztoky byly pomocí metylalkoholu převedeny do baněk a doplněny na celkový objem 100 ml destilovanou vodou. Pak byl každý roztok odstředěn v centrifuze při 4500 otáčkách/min. Roztok získal načervenalou barvu, protože se trifenyltetrazolium chlorid zredukoval na červený trifenylformazan. Vzniklý půdní extrakt byl měřen spektrometricky. Aktivita dehydrogenázy byla stanovena na základě absorbance červeného zbarvení na vlnové délce 485 nm a byla spočítána z kalibrační křivky pro trifenylformazan.

#### **2.5.4 Stanovení aktivity ureázy**

Aktivita ureázy byla stanovena podle metody Kandelerové a Gerbera (1988). Tato metoda vychází ze schopnosti ureázy katalyzovat hydrolýzu močoviny na  $\text{CO}_2$  a  $\text{NH}_3$ . Z odebraných vzorků s přirozenou vlhkostí se do 100ml Erlenmeyerových baňek navážilo po 5 g půdy ve třech opakováních. K těmto třem pokusným vzorkům byly přidány další tři prázdné 100ml Erlenmeyerovy baňky jako kontrolní vzorky. Ke všem vzorkům bylo přidáno 2,5 ml roztoku močoviny. Baňky byly inkubovány 2 hodiny při teplotě 37 °C. Po inkubaci bylo k pokusným vzorkům přidáno 2,5 ml destilované vody a ke kontrolním vzorkům 2,5 ml močoviny. Ke všem vzorkům pak bylo přidáno 50 ml 2M roztoku KCl za účelem extrakce  $\text{NH}_3$  uvolněného ureázou z močoviny. Všechny baňky byly třepány na třepačce při cca 150 kyvech/min po dobu 30 minut. Poté byly všechny vzorky zfiltróvány přes filtrační papír. Z filtrátu bylo odebráno po 1 ml vzorků. Ke každému bylo přidáno 9 ml destilované vody, 2 ml roztoku dichlorisocyanurátu sodného a 5 ml reagencie. Reagencie byla vytvořena smícháním 100 ml 0,3M NaOH se 100 ml destilované vody a s roztokem vzniklým smícháním 1,06M roztoku salicylanu sodného a 0,12 g nitroprusidu sodného rozpuštěného ve 100 ml destilované vody. Všechny odebrané vzorky byly ponechány 30 minut při laboratorních podmínkách. Stanovení aktivity ureázy bylo založeno na reakci salicylátu sodného s  $\text{NH}_3$ , který s dichlorisocyanurátem sodným tvoří v alkalickém prostředí zeleně zbarvený komplex. Měření bylo provedeno spektrometricky při vlnové délce 660 nm. Aktivita ureáz byla stanovena porovnáním výsledků půdních pokusných vzorků a slepých kontrolních vzorků za použití vzorce (3).

$$\frac{\mu g N}{g} \frac{1}{h} = \frac{(S - C) * C_R}{2 * m * m_S} \quad (3)$$

V tomto vzorci S představuje hodnotu pro půdní vzorek a C představuje hodnotu pro kontrolní vzorek odečtenou ze spektrometru.  $C_R$  je objem vzorků a roztoků KCl (55 ml). Aktivita ureázy se udává na hodinu, vzorky byly inkubovány 2 hodiny, proto se při výpočtu dělí dvojkou. Veličina m je hmotnost navážky vzorku (5 g),  $m_S$  pak představuje procento sušiny v půdě.

### 2.5.5 Stanovení huminových kyselin

Vysušená zemina byla semleta v mlýnku na jemnou směs 5 gramů ( $\pm 0,005$  g) bylo odebráno do plastové lahve o objemu 500 ml. Pro každý vzorek půdy se prováděla tři opakování. Každá navážka v 500ml lahvi byla zalita 100 ml pyrofosfátu. Uzavřené lahve se třepaly 1 hodinu na třepačce a potom se nechaly v laboratorních podmínkách stát do dalšího dne. Po přibližně 17 hodinách byly vzorky ještě krátce protřepány, převedeny do kyvet a po dobu 10 minut byly odstředovány při 9000 otáčkách/s. Fugát byl přefiltrován pomocí filtračního papíru do 200ml Erlenmeyerových baňek a z něho se napipetovalo 50 ml a ještě dvakrát po 10 ml do 100ml kádinek, které byly označeny C a AV (uhlík a alkalický výluh). Vzorky označené jako AV se opatrně zneutralizovaly kyselinou sírovou na pH 7 a nechaly se při 80 °C odpařit v sušárně do sucha.

Fugát o objemu 50 ml byl v kádinkách okyselen na pH 1,5 s použitím kyseliny sírové. V obou případech se úprava pH prováděla za stálého míchaní a pomocí kalibrovaného elektronického pH-metru. Tyto kádinky byly zahřívány v sušárně při 70 °C po dobu 30 minut a následně se nechaly odstát do dalšího dne při laboratorní teplotě. Huminové látky se v kyselém prostředí vysrážely a klesly na dno kádinek. Supernatant byl opatrně slit přes filtrační papír navlhčený 0,05 molární kyselinou sírovou. Potom bylo k huminovým látkám v kádinkách přidáno 30 ml 0,05M  $H_2SO_4$  a za zachování kyselého prostředí se obsah znovu převedl do centrifugačních kyvet. Obsah byl odstředěn stejným způsobem jako v předchozím případě. Po centrifugaci zůstaly huminové látky na dně kyvet ve formě sraženiny. Tekutý obsah kyvet byl opatrně slit přes stejné filtrační papíry přes které byla slita sedlina. Filtrační papíry byly opět předem navlhčené kyselinou. Celý postup s centrifugací a slitím roztoku byl znovu zopakován, aby byly získány čisté huminové látky bez příměsí. Sraženina obsahující huminové látky, která zůstala v kyvetách, byla rozpuštěna a přelita



do 50ml odměrných baněk. K rozpuštění byl použit 0,05 molární roztok  $\text{NaHCO}_3$  zahřátý téměř k teplotě varu a s upraveným pH. Aby bylo možné huminové látky v tomto roztoku rozpustit, bylo třeba docílit pH 12. Stejným roztokem byly opatrně propláchnuty i filtrační papíry, přes něž se slévala sedlina z kyvet, protože mohly obsahovat stopové množství huminových látek ze sedliny. Po vychladnutí byl obsah odměrných baněk doplněn roztokem  $\text{NaHCO}_3$  po rysku na 50 ml. Tím byl získán roztok huminových látek v  $\text{NaHCO}_3$ . Do čistých 100ml kádinek byly odpipetovány 20 ml vzorky tohoto roztoku. Tyto kádinky byly označeny HK. Jejich obsah byl zneutralizován kyselinou sírovou na pH 7, postupovalo se stejným způsobem jako v případě předchozí neutralizace. Upravené vzorky byly odpařeny v sušárně při 70 °C do sucha.

K odparkům, značeným AV a HK, bylo přidáno 10 ml 0,4M  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  a 10 ml koncentrované  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Získané roztoky byly zahřívány 1 hodinu v sušárně při teplotě 125 °C. Po vychladnutí byl obsah kádinek destilovanou vodou převeden do 100ml odměrných baněk a doplněn po rysku na 100 ml celkového objemu. Z každého vzorku bylo odebráno 10 ml a titrováno podle stejného postupu, jako při určení obsahu organického uhlíku.

Z výsledku titrace byl vypočítán obsah huminových kyselin a obsah uhlíkatých látek v alkalickém výluhu. Výsledek se vyjádřil jako procentuální zastoupení v 1 g suché zeminy.

Alkalický výluh obsahoval jak huminové kyseliny, tak i fulvokyseliny. Porovnáním výsledků byl stanoven jejich poměr v půdě.

### **2.5.6 Stanovení celkového organického uhlíku**

Odebrané vzorky půdy byly vysušeny a následně v mlýnku rozdrobeny na jemnozrnnou směs. Do předem připravených 50ml odměrných baněk se navážilo po 1 g ( $\pm 0,005$  g) zeminy. Každý vzorek byl zalit 10 ml  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  a stejným množstvím koncentrované  $\text{H}_2\text{SO}_4$  a následně vysušen v horkovzdušné peci. Vychladlé vzorky byly doplněny destilovanou vodou a následně připraveny k titraci. Od každého vzorku bylo napipetováno 10 ml do Erlenmeyerových baňek a před samotným titrováním byly doplněny 50 ml studené destilované vody. Tato voda byla předem vychlazená v ledničce na teplotu přibližně 4 °C. Roztok byl titrován 1M  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ . Jako první indikátor byl přidán 1 ml dvacetiprocentního roztoku KI a titrovalo se do žlutozeleného odstínu. Následně byl přidán

druhý indikátor, dvouprocentní roztok škrobu, čímž vzorek získal červenou barvu. Dále se pokračovalo, než došlo ke změně na světle modrou. Z výsledku titrace byl vypočítán obsah celkového organického uhlíku a výsledek se vyjádřil jako procentuální zastoupení organického uhlíku v 1 g suché zeminy.

## **2.6 Statistické zpracování dat**

Data z terénních měření a z laboratorních měření byla zpracovaná v programu „Statistica“ verze 5. Data byla zpracována pomocí dvoucestné analýzy rozptylu (ANOVA). V případě terénního měření byly mezi sebou porovnávány jednotlivé plochy obdělávané různými zemědělskými technologiemi a jednotlivá data měření. U dat pocházejících z laboratorních rozborů se hledaly rozdíly mezi vzorky z různých ploch obdělávaných různými zemědělskými technologiemi a z různých hloubek. Pokud byl prokázán signifikantní rozdíl mezi porovnávanými skupinami, zjišťovalo se, jak se jednotlivé skupiny navzájem liší. K tomu se použil Fischerův LDS test, nejčastěji pro míru pravděpodobnosti 95 % (ANOVA, LSD test  $p < 0,05$ ). V případě, že dvoucestná ANOVA ukázala na signifikantní interakci dvou hlavních faktorů, byly plochy porovnávány zvlášť v jednotlivých termínech, případně hloubkách pomocí jednocestné ANOVA. Pro hledání vztahu mezi jednotlivými parametry bylo použito lineární regrese a lineárních regresních koeficientů.

Grafické zobrazení závislosti toku CO<sub>2</sub> na teplotě vzduchu a na půdní vlhkosti bylo rovněž zpracováno v programu „Statistica“ verze 5 (*Obrázek 6 a Obrázek 7*). Grafické zobrazení výsledků z dlouhodobého měření (*Obrázek 8 - Obrázek 9*.) bylo zpracováno v statistickém prostředí „R“ verze R x64 2.13.0. Grafy vztahující se k laboratorním měřením (*Obrázek 12 - Obrázek 19*) a grafický záznam průběhu celodenního experimentu (*Obrázek 11*) byly vyrobeny v aplikaci „Microsoft Excel 2003“.

Fotky (*Obrázek 1 - Obrázek 5*) byly upraveny v grafickém editoru „Gymp“ verze 2.6.4 a v programu „Microsoft Office PowerPoint 2003“.

### 3 Výsledky

#### 3.1 Souhrnné výsledky všech sezónních měření

S využitím dat ze všech dní měření ze všech sezón dohromady byl pomocí dvoucestné ANOVA prokázán vysoce signifikantní vliv jak způsobu obdělávání plochy, tak vliv dne na tok CO<sub>2</sub> (u obou  $p < 0,0001$ ). Vliv dne představuje soubor všech podmínek, které působily na půdní biotu v daný den.

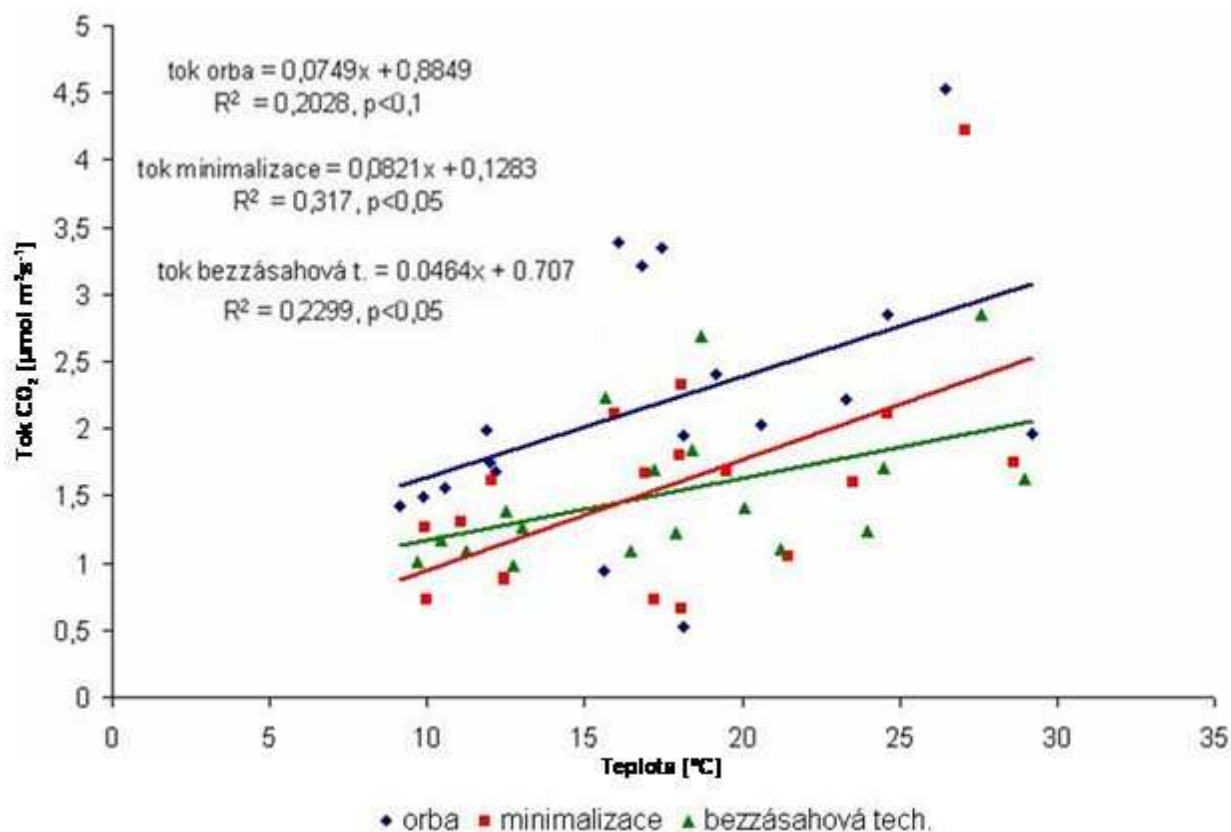
Plocha obdělávaná orbou vykazovala signifikantně nejvyšší tok CO<sub>2</sub> (ANOVA, LSD test  $p < 0,05$ ) (Tabulka 2). Oproti tomu se obě plochy obdělávané půdoochrannými technologiemi vyznačovaly menší produkcí CO<sub>2</sub>. Minimalizace se od bezzásahové technologie z hlediska toku CO<sub>2</sub> v dlouhodobém horizontu statisticky významně nelišila.

Tabulka 2 Střední hodnota toku CO<sub>2</sub> z dlouhodobého hlediska na plochách obdělávaných různými zemědělskými technologiemi. Čísla za znaménkem „±“ představují směrodatnou odchylku. Statisticky homogenní skupiny jsou označeny stejnými písmeny. (ANOVA, LSD test  $p < 0,05$ )

Zemědělská technologie	Střední hodnota toku CO <sub>2</sub> [ $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ]
Orba	2,18 ± 1,18 a
Minimalizace	1,57 ± 1,03 b
Bezzásahová technologie	1,53 ± 0,65 b

#### Vliv teploty

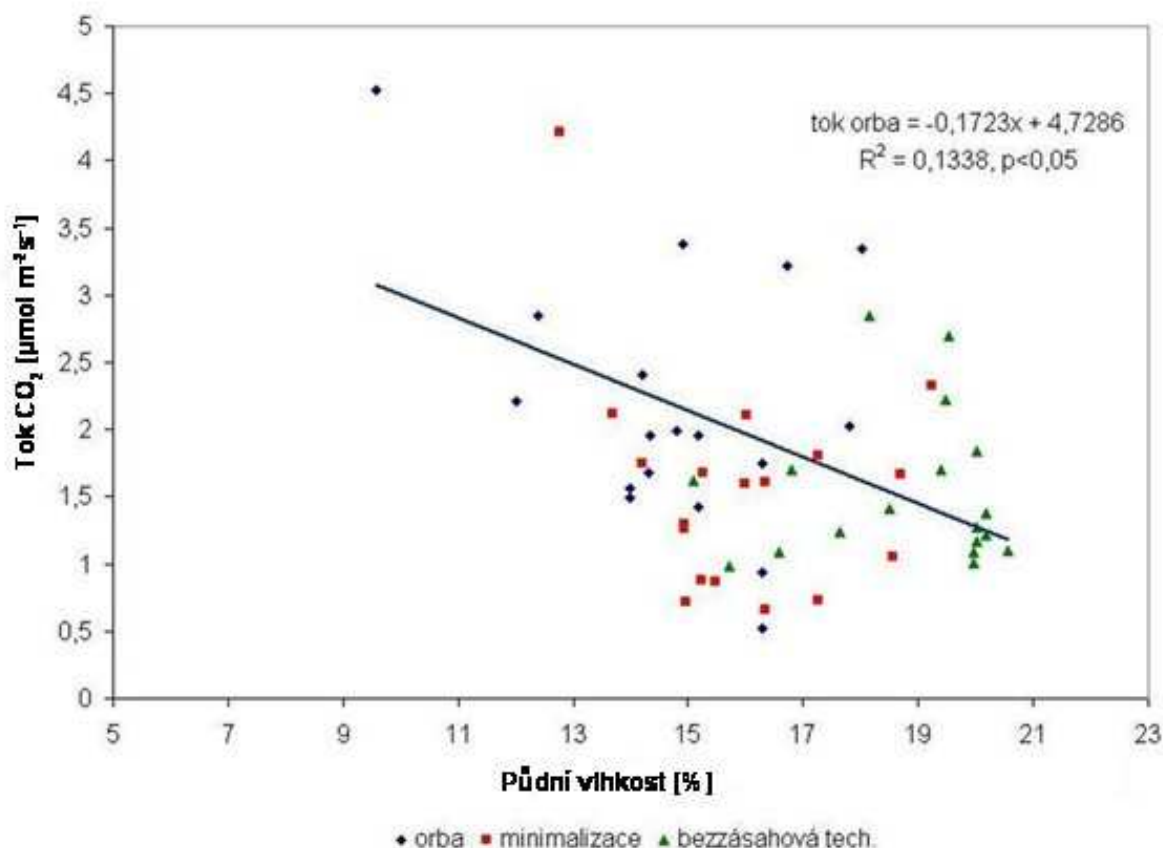
Lineární závislost mezi průměrnou teplotou a průměrnou hodnotou respirace byla odhadnuta metodou regresní přímky. Celosezónní závislost toku CO<sub>2</sub> na teplotě vykazovala strmější nárůst s teplotou u orby a minimalizace a pozvolnější u bezzásahové technologie.



Obrázek 6. Regresní přímka sestavená ze všech dní měření dohromady zobrazující lineární vztah mezi tokem CO<sub>2</sub> a teplotou vzduchu pro plochy obdělávané orbou, minimalizací a bezzásahovou technologií. Pro výpočet byly použity dvojice hodnot: hodnoty průměrné respirace pro daný den a odpovídající průměrné teploty vzduchu.

## Vliv půdní vlhkosti

Lineární závislost mezi půdní vlhkostí pro daný den a průměrnou hodnotou respirace byla odhadnuta metodou regresní přímky. Celosezónní závislost toku CO<sub>2</sub> na půdní vlhkosti byla signifikantní pouze pro plochu obdělávanou orbou. S rostoucí půdní vlhkostí tok CO<sub>2</sub> klesal. Pro plochy obdělávané půdoochrannými technologiemi nebyla závislost signifikantní.

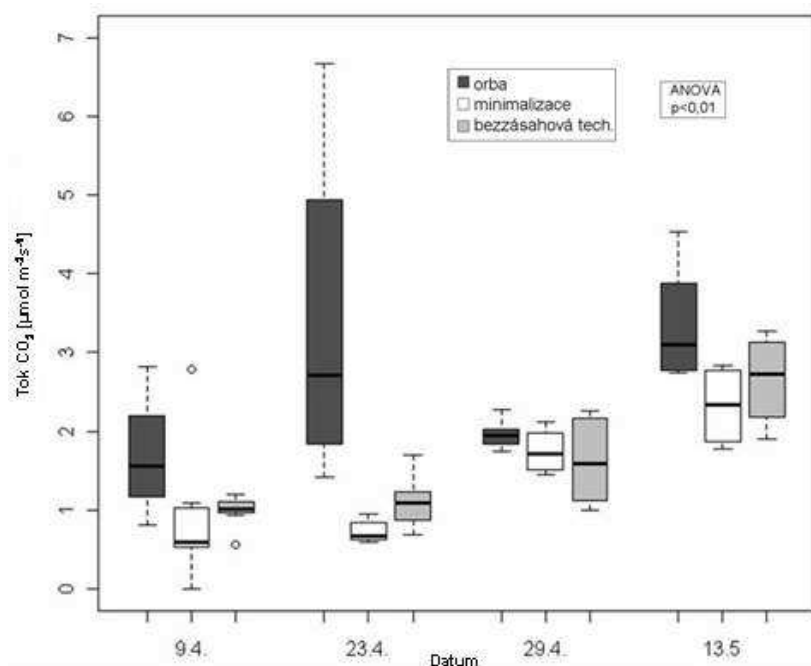


Obrázek 7. Regresní přímka sestavená ze všech dní měření dohromady zobrazující lineární vztah mezi tokem CO<sub>2</sub> a půdní vlhkostí pro plochu obdělávanou orbou. Pro výpočet byly použity dvojice hodnot: hodnoty průměrné respirace pro daný den a odpovídající půdní vlhkost na dané ploše.

## 3.2 Výsledky sezónních měření

### 3.2.1 Jaro 2010

Byl prokázán statisticky vysoce významný rozdíl ( $p < 0,0001$ ) v toku CO<sub>2</sub> mezi jednotlivými plochami obdělávanými různými zemědělskými technologiemi. Plocha obdělávaná orbou vykazovala největší produkci CO<sub>2</sub> (ANOVA, LSD test  $p < 0,05$ ). Plochy obdělávané minimalizací a bezzásahovou technologií se z hlediska toku CO<sub>2</sub> statisticky významně nelišily (Tabulka 3). Tok CO<sub>2</sub> během jara narůstal. Na ploše obdělávané orbou dosahoval výrazně vyšších hodnot, než na ostatních plochách (Obrázek 8).



Obrázek 8. Porovnání toku CO<sub>2</sub> na jednotlivých plochách ve vybrané dny, jaro 2010 (LSD test p<0,05).

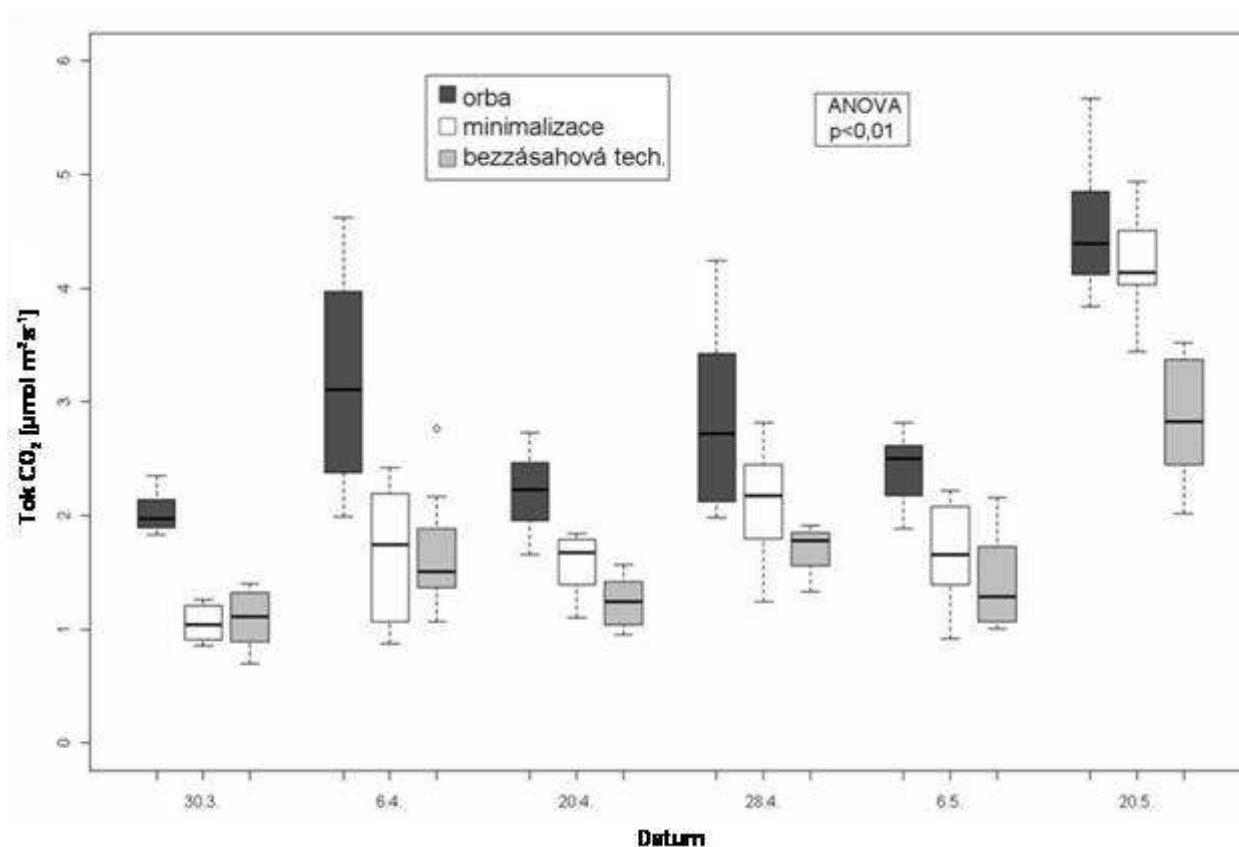
Tabulka 3. Střední hodnota toku CO<sub>2</sub> pro jaro 2010 na plochách obdělávaných různými zemědělskými technologiemi. Čísla za znaménkem „±“ představují směrodatnou odchylku. Statisticky homogenní skupiny jsou označeny stejnými písmeny. (ANOVA, LSD test p<0,05)

Zemědělská technologie	Střední hodnota toku CO <sub>2</sub> [μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> ]
Orba	2,59 ± 1,39 a
Minimalizace	1,59 ± 0,85 b
Bezzásahová technologie	1,42 ± 0,78 b

### 3.2.2 Jaro 2011

Obdobně jako pro jaro 2010, tak i pro jaro 2011 byl prokázán statisticky významný rozdíl (p<0,0001) v toku CO<sub>2</sub> mezi jednotlivými plochami obdělávanými různými zemědělskými technologiemi (ANOVA, LSD test p<0,05).

Narozdíl do jara 2010, se během jara 2011 navzájem lišily všechny tři plochy. Plocha obdělávaná orbou vykazovala největší tok CO<sub>2</sub>. U plochy obdělávané minimalizací byl tok CO<sub>2</sub> oproti orbě nižší. Pole obdělávané bezzásahovou technologií vykazovalo nejnižší tok CO<sub>2</sub>. Rozdíl v produkci CO<sub>2</sub> jednotlivými obdělávanými plochami shrnuje tabulka (Tabulka 4). Tok CO<sub>2</sub> během jara 2011 na ploše obdělávané orbou narůstal a dosahoval výrazně vyšších hodnot, než na ostatních plochách (Obrázek 9).



Obrázek 9. Porovnání toku CO<sub>2</sub> na jednotlivých plochách ve vybrané dny, jaro 2011  
LSD test ( $p < 0,05$ ) ukazuje signifikantní rozdíl mezi plochami.

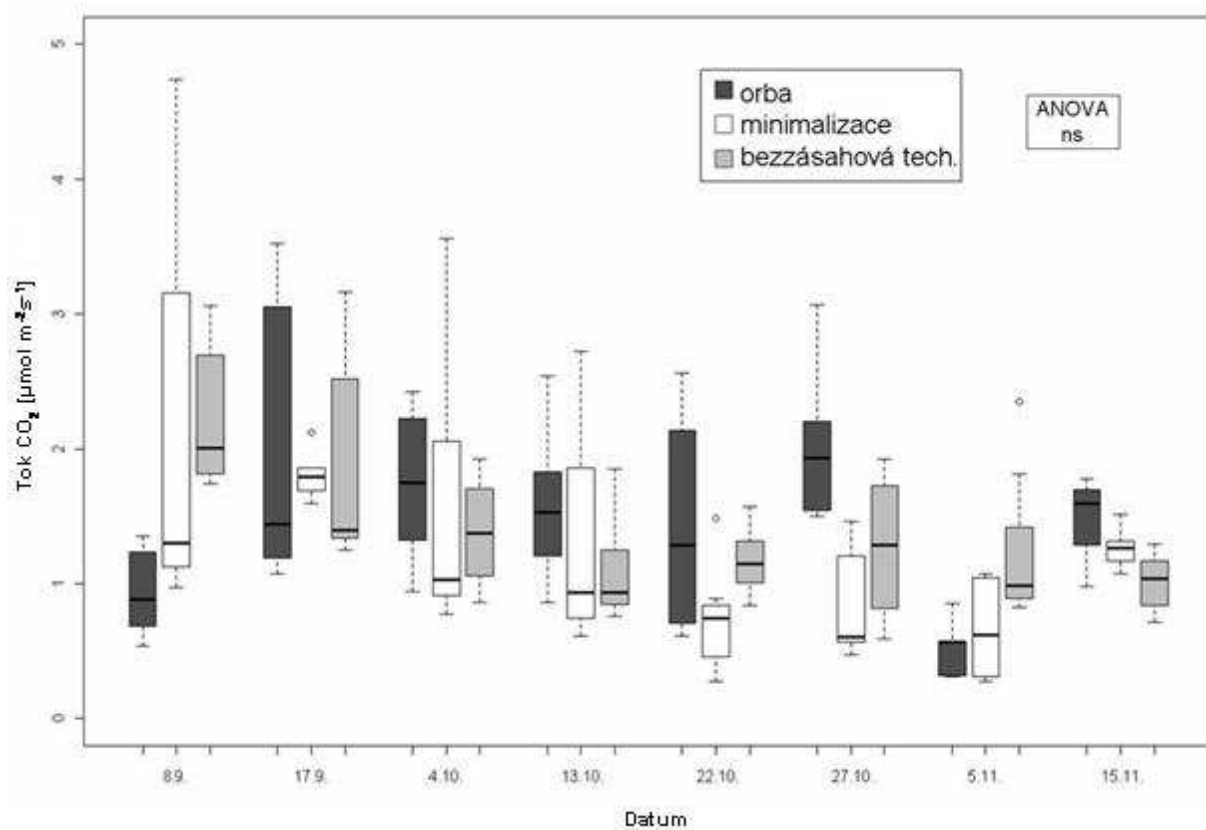
Tabulka 4. Střední hodnota toku CO<sub>2</sub> pro jaro 2011 na plochách obdělávaných různými zemědělskými technologiemi. Čísla za znaménkem „±“ představují směrodatnou odchylku. Statisticky homogenní skupiny jsou označeny stejnými písmeny. (ANOVA, LSD test  $p < 0,05$ )

Zemědělská technologie	Střední hodnota toku CO <sub>2</sub> [ $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ]
Orba	$2,87 \pm 1,01$ a
Minimalizace	$2,06 \pm 1,09$ b
Bezzásahová technologie	$1,67 \pm 0,69$ c

### 3.2.3 Podzim 2010

Na rozdíl od jarních sezón, pro podzim 2010 se neprokázal žádný statisticky významný rozdíl mezi jednotlivými plochami obdělávanými různými zemědělskými postupy (ANOVA). Všechny plochy vykazovaly obdobný tok CO<sub>2</sub> (Tabulka 5).

Před počátkem měření na podzim 2010 proběhla orba (6.září). Následně (dne 8. září) vykazovala oraná plocha významně nižší tok CO<sub>2</sub>.



Obrázek 10. Porovnání toku CO<sub>2</sub> na jednotlivých plochách ve vybrané dny, podzim 2010  
LSD test ( $p < 0,05$ ) neprokázal signifikantní rozdíl mezi plochami.

Tabulka 5. Střední hodnota toku CO<sub>2</sub> pro podzim 2010 na plochách obdělávaných různými zemědělskými technologiemi. Čísla za znaménkem „±“ představují směrodatnou odchylku. Statisticky homogenní skupiny jsou označeny stejnými písmeny. (ANOVA, LSD test  $p < 0,05$ )

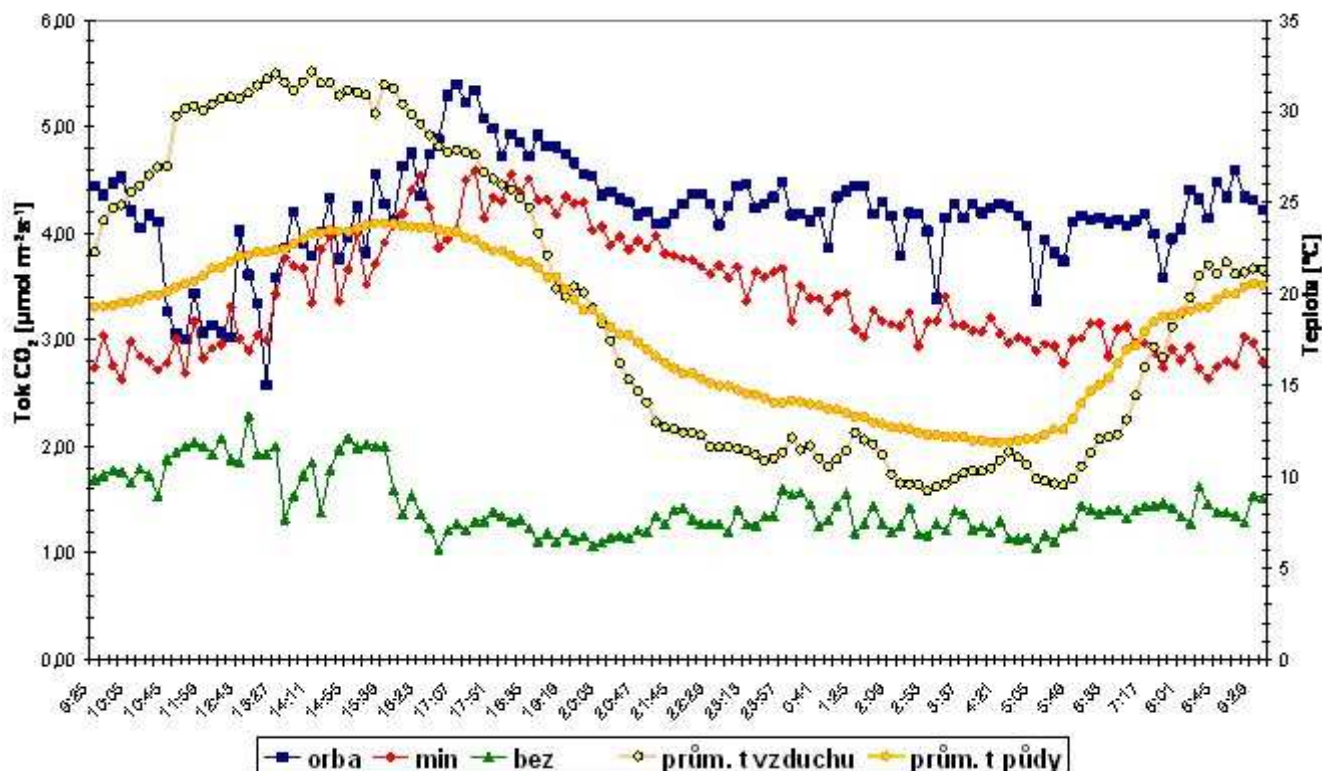
Zemědělská technologie	Střední hodnota toku CO <sub>2</sub> [μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> ]
Orba	1,29 ± 0,69 a
Minimalizace	1,40 ± 0,90 a
Bezzásahová technologie	1,45 ± 0,56 a

### 3.3 Celodenní měření respirace

Kontinuální 24 hodinové sledování toku CO<sub>2</sub>, se uskutečnilo 11. - 12. května 2011. Výsledky shrnuje Obrázek 11.

Z hlediska toku CO<sub>2</sub> byl prokázán vysoce signifikantní rozdíl mezi jednotlivými plochami (ANOVA, LSD test  $p < 0,05$ ). Nejvyšší hodnoty byly zaznamenány na ploše s orbou, nižší na ploše s minimalizací a nejnižší na ploše s bezzásahovou technologií.





Obrázek 11. Porovnání toku CO<sub>2</sub> (μmol m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>), teploty vzduchu a teploty půdy (°C) na jednotlivých plochách během 24 hodin, (LSD test p<0,05) ukazuje signifikantní rozdíl mezi plochami. Zkratky v popisku: „orba“ - orba, „min“ - minimalizace, „bez“ - bezzásahová technologie. Pojmy průměrná teplota vzduchu a průměrná teplota půdy jsou myšleny průměry teplot ze všech sledovaných ploch pro daný časový okamžik.

Tabulka 6. Střední hodnota toku CO<sub>2</sub> na plochách obdělávaných různými zemědělskými technologiemi pro hodnoty 24 hodinového měření. Statisticky homogenní skupiny jsou označeny stejnými písmeny.

Zemědělská technologie	Střední hodnota toku CO <sub>2</sub> [μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> ]
Orba	4,02 ± 0,48 a
Minimalizace	3,42 ± 0,53 b
Bezzásahová technologie	1,44 ± 0,28 c

Nejvíce se při 24 hodinovém experimentu lišil průběh toku CO<sub>2</sub> na bezzásahové ploše oproti orbě a minimalizaci. Celkový průběh změn respirace byl u orby a minimalizace podobný. Na těchto dvou plochách respirace narůstala přes celý den a nejintenzivnější byla mezi 17. a 18. hodinou. V noci pak zůstala respirace na těchto dvou plochách na obdobné úrovni jako na začátku odpoledne. Ovšem na orbě, zůstala respirace na stejné úrovni přes celou noc a nejnižších hodnot dosáhla až mezi 10. a 11. hodinou. Na ploše obdělávané minimalizací intenzita dýchaní přes noc pomalu klesala. U minimalizace není možné určit hodinu výrazného minima, respirace se snižovala postupně v průběhu celé noci a od 10. hodiny opět narůstala.

Průběh respirace na ploše obdělávané bezzásahovou technologií se lišil od ostatních dvou ploch. Oproti nim dosahovala respirace vysokých hodnot mezi 10. a 16. hodinou. Po celou dobu dosahovala přibližně stejné hodnoty  $2 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1} \text{CO}_2$ . Nejvyšší hodnoty pak dosáhla mezi 13. a 14. hodinou. Po 17. hodině klesala a od 20. hodiny zůstala na stejné hladině po celou noc. Ani v tomto případě není možné určit konkrétní čas minima, protože se respirace měnila pozvolně.

Tok  $\text{CO}_2$  na ploše s bezzásahovou technologií vykazoval statisticky významnou korelaci jak s teplotou půdy, tak zejména s teplotou vzduchu (*Tabulka 7*). Statisticky signifikantní závislost, i když méně průkazná, byla pozorována u minimalizace. Korelace mezi teplotou půdy a tokem  $\text{CO}_2$  byla u plochy obdělávané minimalizací méně průkazná, než na bezzásahové ploše. Oproti ostatním dvěma plochám, u orané plochy nebyla zaznamenána žádná statisticky významná závislost ani s teplotou vzduchu ani půdy. U orby však byla nalezena závislost mezi tokem  $\text{CO}_2$  a teplotou půdy posunutou o 1 nebo 2 hodiny. I v případě minimalizace byla závislost mezi teplotou půdy a tokem  $\text{CO}_2$  průkaznější pro hodnoty posunuté o 2 hodiny.

*Tabulka 7.* Závislost respirace na jednotlivých plochách na teplotě vzduchu či půdy. Vyznačeny (tučným fontem a podtržené) jsou signifikantní regrese pro  $p < 0,05$

	Orba	Minimalizace	Bezzásahová technologie
Teplota vzduchu	-0,06	<b><u>0,23</u></b>	<b><u>0,64</u></b>
Teplota půdy	0,11	<b><u>0,38</u></b>	<b><u>0,48</u></b>
Teplota půdy - posun o hodinu	<b><u>0,26</u></b>	<b><u>0,63</u></b>	<b><u>0,32</u></b>
Teplota půdy - posun o 2 hodiny	<b><u>0,31</u></b>	<b><u>0,74</u></b>	<b><u>0,24</u></b>

### 3.4 Laboratorní rozbor

#### 3.4.1 Laboratorní respirace

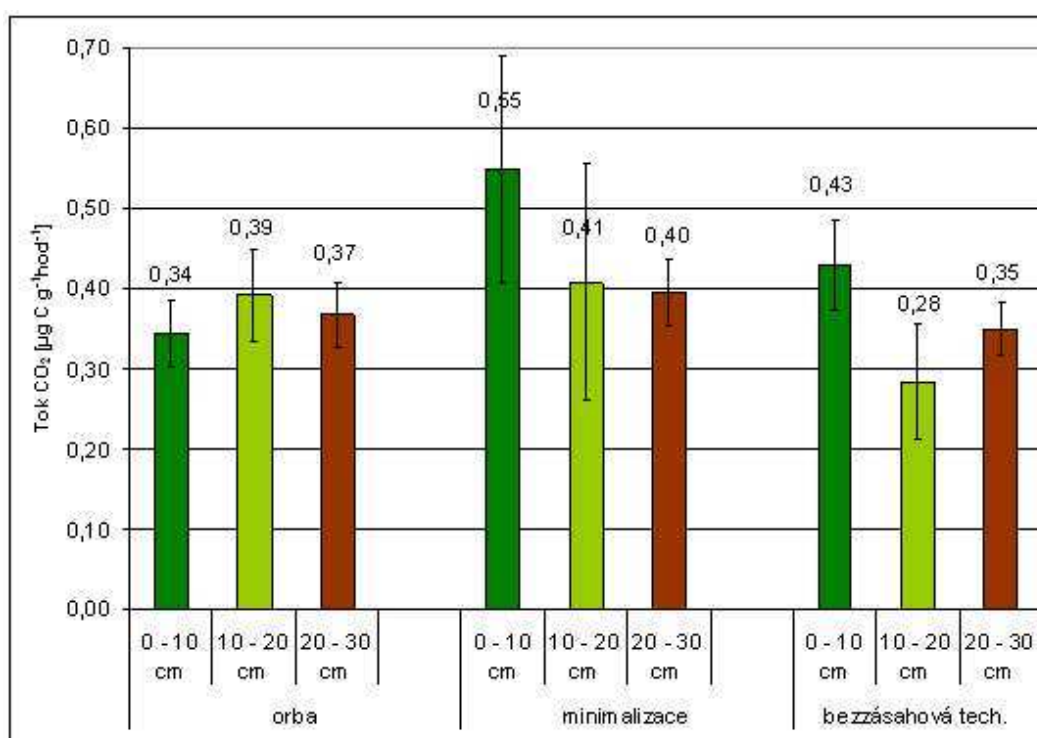
Byl prokázán vysoce signifikantní rozdíl v toku  $\text{CO}_2$  mezi jednotlivými plochami obdělávanými různými zemědělskými postupy ( $p < 0,0001$ ). Naopak mezi půdami odebranými z různých hloubek nebyl statisticky významný rozdíl (dvoucestná ANOVA,  $p < 0,05$ ).

Mikrobiální respirace půd pocházejících z ploch obdělávaných orbou a bezzásahovou technologií se statisticky významně nelišila. Respirace půd pocházejících

z plochy obdělávané minimalizací byla signifikantně vyšší (ANOVA, LSD test  $p < 0,05$ ) (Tabulka 8, Obrázek 12).

Tabulka 8. Střední hodnota toku  $\text{CO}_2$  při laboratorní respiraci vzorků z ploch obdělávaných různými zemědělskými technologiemi. Čísla za znaménkem „ $\pm$ “ představují směrodatnou odchylku. Statisticky homogenní skupiny jsou označeny stejnými písmeny. (ANOVA, LSD test  $p < 0,05$ )

Zemědělská technologie	Střední hodnota respirace - tok $\text{CO}_2$ [ $\mu\text{g C g}^{-1}\text{hod}^{-1}$ ]
Orba	$0,37 \pm 0,04$ a
Minimalizace	$0,45 \pm 0,12$ b
Bezzásahová technologie	$0,35 \pm 0,07$ a



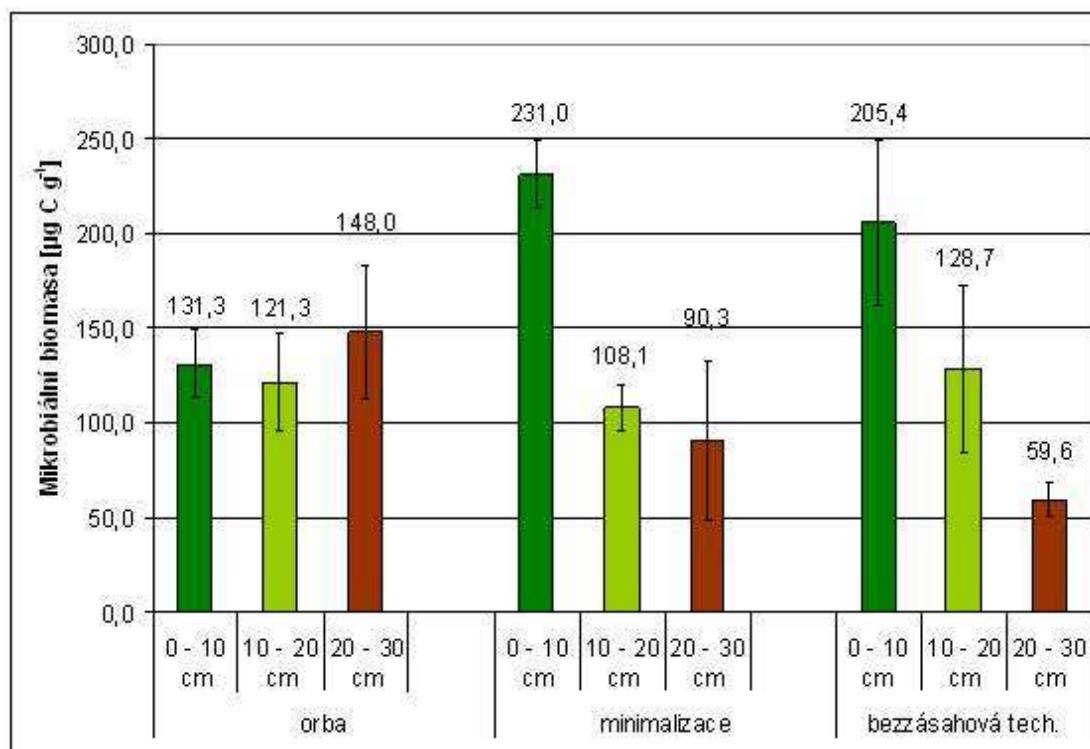
Obrázek 12. Porovnání mikrobiální respirace za laboratorních podmínek u vzorků půd z různých hloubek u ploch obdělávaných různými zemědělskými technologiemi, tok  $\text{CO}_2$  v  $\mu\text{g C}$  na 1 g půdy za hodinu

### 3.4.2 Mikrobiální biomasa

Z hlediska obsahu mikrobiální biomasy se mezi plochami obdělávanými jednotlivými zemědělskými postupy neprokázal signifikantní rozdíl. Rozložení mikrobiální biomasy se však prokazatelně lišilo podle hloubky (ANOVA, LSD test  $p < 0,05$ ). Největší zastoupení mikroflóry, v souhrnu pro všechny plochy, se nacházelo u povrchu, v hloubce do 10 cm. S rostoucí hloubkou obsah mikroflóry klesal (Tabulka 9).

Tabulka 9. Střední hodnota obsahu mikrobiální biomasy souhrnně pro danou hloubku. Čísla za znaménkem „±“ představují směrodatnou odchylku. Statisticky homogenní skupiny jsou označeny stejnými písmeny. (ANOVA, LSD test  $p < 0,05$ )

Hloubka	Střední hodnota obsahu mikrobiální biomasy [ $\mu\text{g C g}^{-1}$ ]
0 – 10 cm	189,22 ± 48,45 a
10 – 20 cm	119,38 ± 26,12 b
20 – 30 cm	99,32 ± 45,07 b

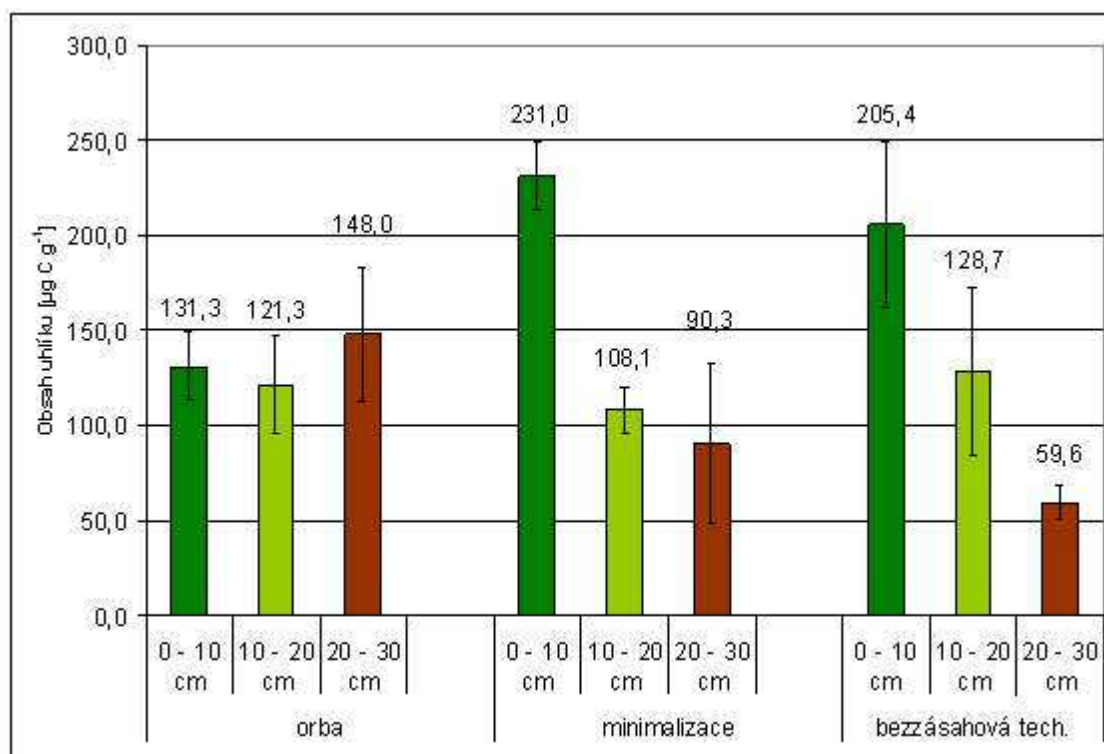


Obrázek 13. Obsah mikrobiální biomasy ( $\mu\text{g C g}^{-1}$ ) ve vzorcích půd z různých hloubek u ploch obdělávaných různými zemědělskými technologiemi

Přestože mezi zemědělskými plochami nebyl signifikantní rozdíl, interakce mezi způsobem obdělávání a rozložením mikroflóry do hloubek byla vysoce signifikantní (ANOVA, LSD test  $p < 0,05$ ). U plochy obdělávané orbou bylo rozložení mikroorganismů obdobné ve všech hloubkách. Oproti tomu u obou ploch obdělávaných půdoochrannými technologiemi se nejvíce mikroorganismů nalézalo blízko povrchu a s rostoucí hloubkou mikroflóra ubývala (Obrázek 13). Porovná-li se mezi sebou jednotlivé technologie v jednotlivých hloubkách, pak v hloubce 0 - 10 cm vykazuje orba signifikantně nižší respiraci, než minimalizace a bezzásahová technologie (ANOVA, LSD test  $p < 0,05$ ). V hloubce 10 - 20 cm nebyl mezi jednotlivými technologiemi signifikantní rozdíl, zatímco v hloubce 20 - 30 cm byla respirace na orbě signifikantně vyšší než na minimalizaci a bezzásahové technologii (ANOVA, LSD test  $p < 0,05$ ).

### 3.4.3 Organický uhlík

Obsah organického uhlíku, který představoval celkový obsah všech organických sloučenin v půdě (Obrázek 14), se signifikantně lišil jak mezi jednotlivými plochami, tak i mezi jednotlivými hloubkami (ANOVA, LSD test  $p < 0,0001$  v obou případech). Zároveň byla zaznamenána signifikantní interakce mezi způsobem obdělávání a rozložením organických látek do hloubek. U plochy obdělávané orbou se obsah uhlíku s hloubkou statisticky významně neměnil. U minimalizace a bezzásahové technologie byl v obou případech obsah uhlíku v povrchové vrstvě statisticky významně vyšší, než v hlubších vrstvách. Obsah organického uhlíku ve vrstvách 10 - 20 cm a 20 - 30 cm se u půdoochranných technologií statisticky významně nelišil (ANOVA, LSD test  $p < 0,05$ ).



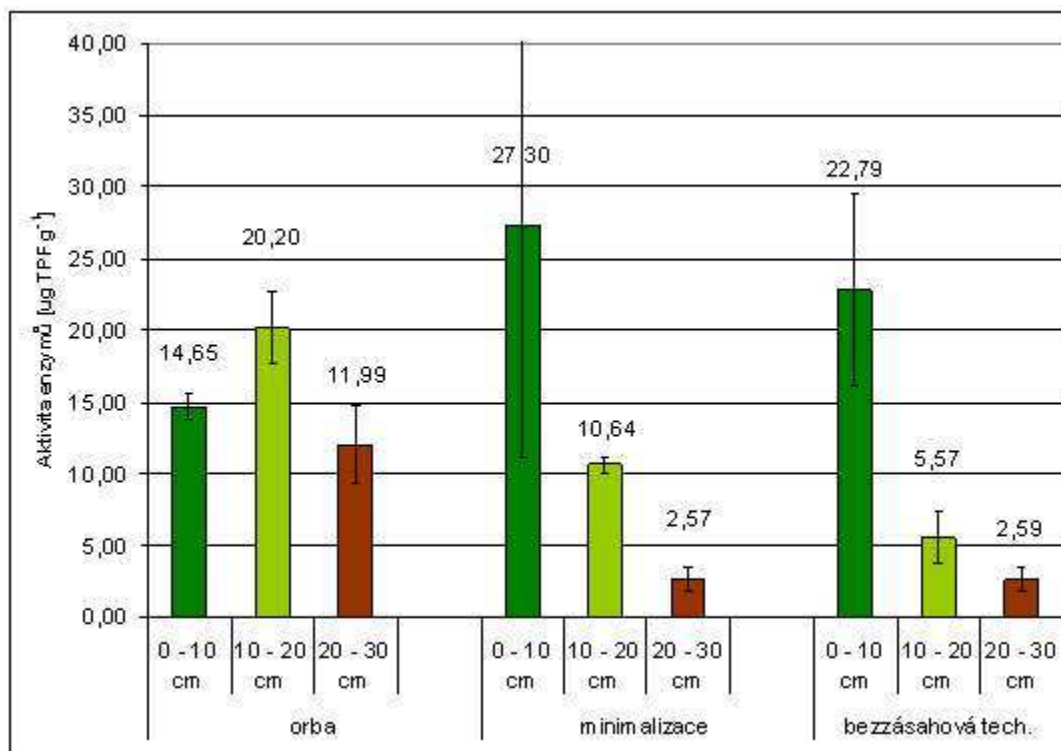
Obrázek 14. Celkový obsah organického uhlíku (%) ve vzorcích půd z různých hloubek u ploch obdělávaných různými zemědělskými technologiemi

Tabulka 10. Celkový obsah uhlíku uloženého ve formě organických sloučenin podle ploch obdělávaných různými zemědělskými technologiemi. Čísla za znaménkem „±“ představují směrodatnou odchylku. Statisticky homogenní skupiny jsou označeny stejnými písmeny. (ANOVA, LSD test  $p < 0,05$ )

Zemědělská technologie	Střední hodnota obsahu organického uhlíku [%]
Orba	1,26 ± 0,03 a
Minimalizace	1,35 ± 0,24 b
Bezzásahová technologie	1,28 ± 0,26 a

### 3.4.4 Aktivita enzymů skupiny dehydrogenázy

Provedená měření neprokázala v aktivitě enzymů skupiny dehydrogenázy signifikantní rozdíl mezi plochami obdělávanými jednotlivými zemědělskými postupy. Vysoce signifikantní rozdíl byl ale prokázán u půd odebraných z různých hloubek (ANOVA, LSD test  $p < 0,0001$ ). Navíc byla zaznamenána signifikantní interakce mezi hloubkou a způsobem obdělávání (ANOVA, LSD test  $p < 0,05$ ). U půdoochranných technologií klesala aktivita dehydrogenázy s hloubkou. V obou případech byla naměřená aktivita enzymů signifikantně vyšší v hloubce 0 - 10 cm, než ve zbývajících hlubších vrstvách. Aktivita enzymů v hloubce 10 - 20 cm byla opět signifikantně vyšší, než v hloubce 20 - 30 cm (ANOVA, LSD test  $p < 0,05$ ). U orby byla nejvyšší aktivita dehydrogenázy v hloubce 10 - 20 cm. Výsledky shrnuje obrázek (Obrázek 15). Porovnají-li se mezi sebou jednotlivé technologie v jednotlivých vrstvách, pak ve vrstvě 0 - 10 cm nebyl pozorován žádný signifikantní rozdíl mezi technologiemi. Ve vrstvě 10 - 20 cm byla aktivita na orbě signifikantně větší, než na minimalizaci, která byla opět signifikantně vyšší, než na bezzásahové technologii (ANOVA, LSD test  $p < 0,05$ ). Ve vrstvě 20 - 30 cm byla aktivita na orbě signifikantně vyšší, než u obou půdoochranných technologií. Rozdíl mezi aktivitami u půdoochranných technologií nebyl signifikantní (ANOVA, LSD test  $p < 0,05$ ).

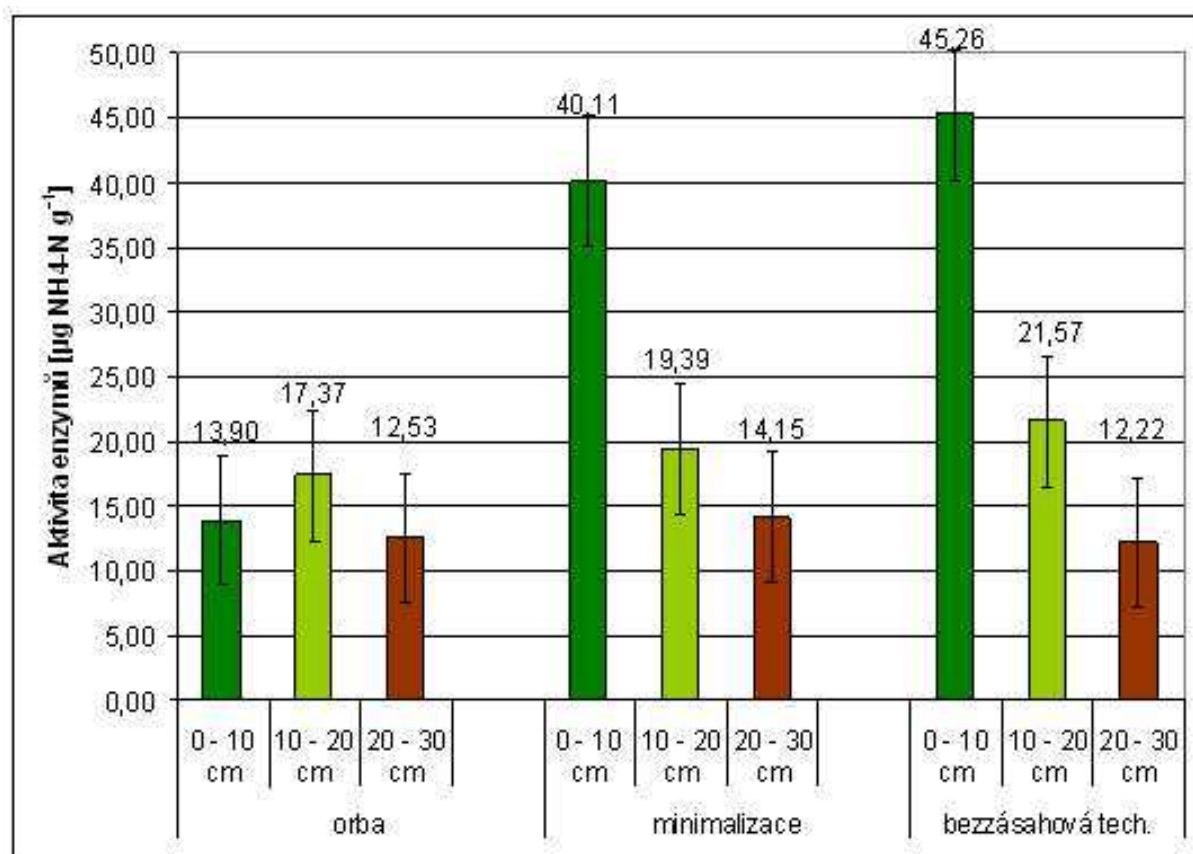


Obrázek 15. Obsah enzymů skupiny dehydrogenázy vyjádřených v  $\mu\text{g TPF}$  v 1 g půdy ve vzorcích půd z různých hloubek u ploch obdělávaných různými zemědělskými technologiemi



### 3.4.5 Aktivita enzymů skupiny ureázy

Z hlediska aktivity enzymů skupiny ureázy byl prokázán vysoce signifikantní rozdíl jak mezi jednotlivými plochami, tak i mezi jednotlivými hloubkami (ANOVA,  $p < 0,0001$  v obou případech). Navíc byla zaznamenána signifikantní interakce mezi hloubkou a typem zemědělské technologie (ANOVA,  $p < 0,05$ ). Aktivita ureázy byla signifikantně nižší u orby, než u obou půdoochranných technologií (ANOVA, LSD test  $p < 0,05$ ). U minimalizace a bezzásahové technologie klesala aktivita ureázy s hloubkou a byla signifikantně vyšší ve vrstvě 0 - 10 cm, než ve hlubších vrstvách (ANOVA, LSD test  $p < 0,05$ ). Naopak u orby se aktivita ureázy s hloubkou signifikantně neměnila (ANOVA, LSD test  $p < 0,05$ ). Výsledky shrnuje obrázek (Obrázek 16). Porovnájí-li se mezi sebou jednotlivé technologie v jednotlivých vrstvách, pak byly zaznamenány signifikantní rozdíly jen pro hloubku 0 - 10 cm, ve které byla aktivita na obou půdoochranných technologiích vyšší, než na orbě. Rozdíl mezi půdoochrannými technologiemi nebyl statisticky významný (ANOVA, LSD test  $p < 0,05$ ).



Obrázek 16. Obsah enzymů skupiny ureázy vyjádřených v  $\mu\text{g NH}_4\text{-N}$  v 1 g půdy ve vzorcích půd z různých hloubek u ploch obdělávaných různými zemědělskými technologiemi

Tabulka 11. Střední hodnota obsahu enzymů skupiny ureázy podle ploch obdělávaných různými zemědělskými technologiemi. Čísla za znaménkem „±“ představují směrodatnou odchylku. Statisticky homogenní skupiny jsou označeny stejnými písmeny. (ANOVA, LSD test  $p < 0,05$ )

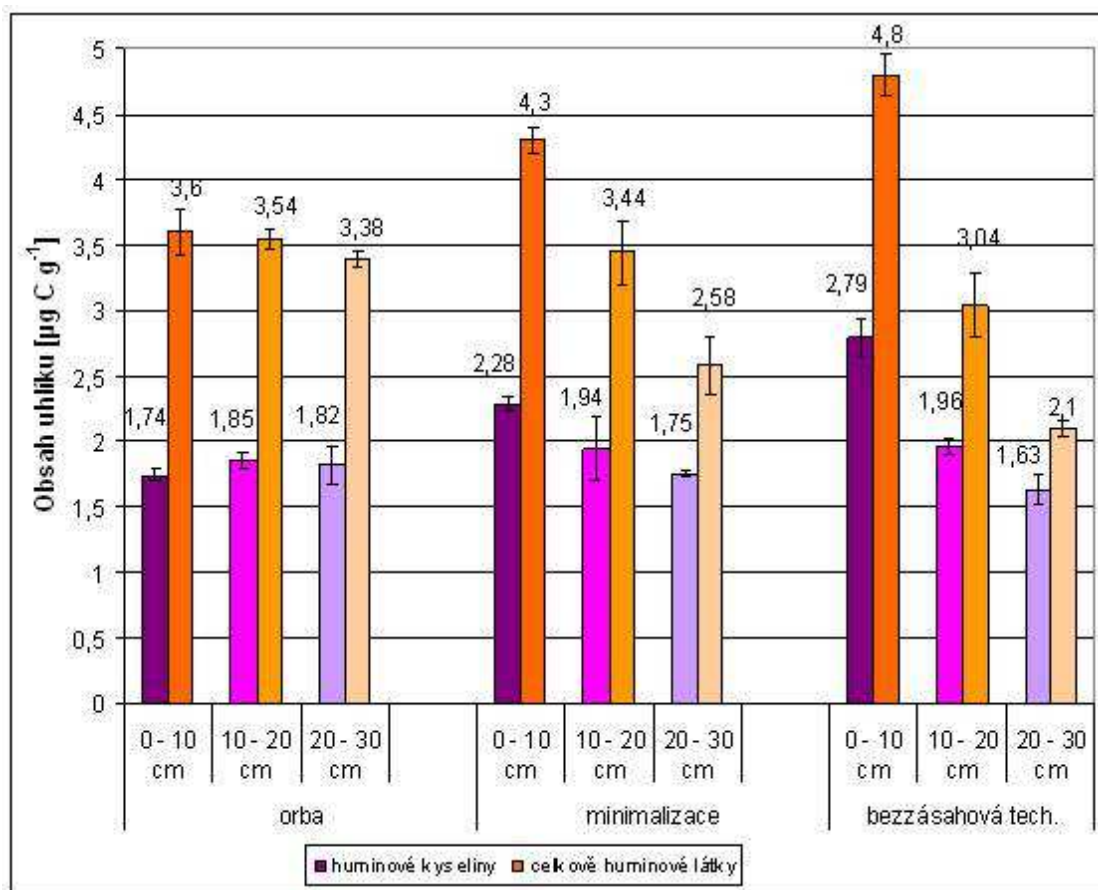
Zemědělská technologie	Střední hodnota obsahu obsah enzymů skupiny ureázy [ $\mu\text{g NH}_4\text{-N g}^{-1}$ ]
Orba	14,60 ± 3,02 a
Minimalizace	24,55 ± 11,43 b
Bezzásahová technologie	26,35 ± 14,18 b

### 3.4.6 Obsah huminových kyselin a huminových látek

Rozdíl mezi obsahy huminových kyselin byl vysoce signifikantní, jak mezi jednotlivými plochami, tak i mezi jednotlivými hloubkami. Zároveň byla prokázána vysoce signifikantní interakce mezi hloubkou a typem zemědělské technologie (ANOVA, LSD test  $p < 0,001$  ve všech případech). Obsah huminových kyselin byl signifikantně nižší u orby, než u obou půdoochranných technologií (ANOVA, LSD test  $p < 0,05$ ). U orby se obsah huminových kyselin s hloubkou statisticky významně neměnil. Naopak u půdoochranných technologií byl v obou případech obsah huminových kyselin nejvyšší ve vrstvě 0 - 10 cm, a s hloubkou klesal (ANOVA, LSD test  $p < 0,05$ ). Porovnájí-li se mezi sebou jednotlivé technologie v jednotlivých vrstvách, pak byl zaznamenán signifikantní rozdíl jen pro hloubku 0 - 10 cm. Obsah huminových kyselin byl nejvyšší na bezzásahové technologii, přičemž byl signifikantně vyšší, než na minimalizaci, kde byl opět signifikantně vyšší, než obsah huminových kyselin na orbě (ANOVA, LSD test  $p < 0,05$ ).

Jiná situace byla v případě obsahu všech huminových látek, jelikož rozdíl mezi plochami obdělávanými jednotlivými zemědělskými postupy byl těsně nad hranicí průkaznosti. Pro obsah všech huminových látek byl prokázán vysoce signifikantní rozdíl jak mezi jednotlivými hloubkami, tak i v případě interakce mezi hloubkou a typem zemědělské technologie (ANOVA, LSD test  $p < 0,0001$  v obou případech). Rozložení obsahu všech huminových látek podle hloubky byl obdobný jako v případě huminových kyselin (ANOVA, LSD test  $p < 0,05$ ). Výsledky pro huminové kyseliny a huminové látky shrnuje obrázek (Obrázek 17). Porovnájí-li se mezi sebou jednotlivé technologie v jednotlivých vrstvách, pak jak pro hloubku 0 - 10 cm, tak pro hloubku 20 - 30 cm, bylo signifikantní rozložení obsahu všech huminových látek stejné, jako bylo v případě huminových kyselin. Pro vrstvu 10 - 20 cm byl rozdíl nesignifikantní (ANOVA, LSD test  $p < 0,05$ ).





Obrázek 17. Obsah huminových kyselin (fialová škála) a obsah všech huminových látek (oranžová škála) ( $\mu\text{g C g}^{-1}$ ) ve vzorcích půd z různých hloubek u ploch obdělávaných různými zemědělskými technologiemi.

Tabulka 12. Střední hodnota obsahu huminových kyselin podle ploch obdělávaných různými zemědělskými technologiemi. Čísla za znaménkem „±“ představují směrodatnou odchylku. Statisticky homogenní skupiny jsou označeny stejnými písmeny. (ANOVA, LSD test  $p < 0,05$ )

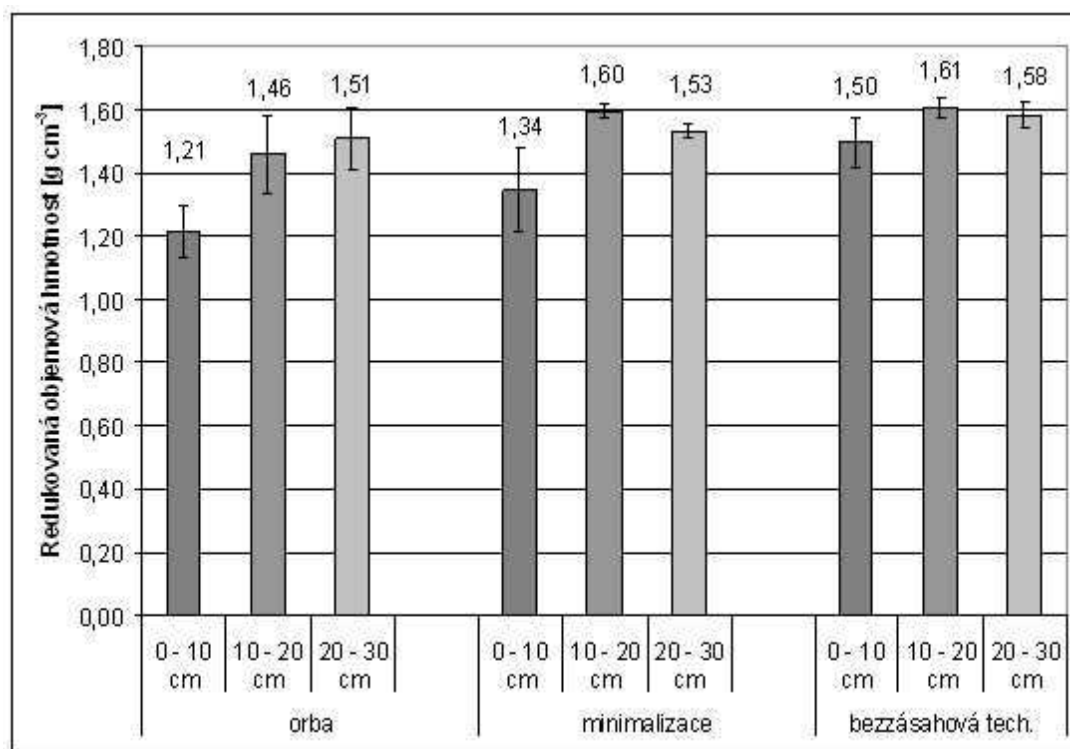
Zemědělská technologie	Střední hodnota obsahu huminových kyselin [ $\mu\text{g C g}^{-1}$ ]
Orba	1,80 ± 0,09 a
Minimalizace	2,01 ± 0,28 b
Bezzásahová technologie	2,09 ± 0,44 b

### 3.5 Ukazatele fyzikálních vlastností půdy

#### 3.5.1 Redukovaná objemová hmotnost

Redukovaná objemová hmotnost se vysoce signifikantně lišila jak mezi jednotlivými plochami, tak i mezi jednotlivými hloubkami (ANOVA, LSD test  $p < 0,001$  v obou případech). Zároveň se signifikantně lišila interakce mezi typem zemědělské technologie a změnou redukované objemové hmotnosti podle hloubek (ANOVA, LSD test  $p < 0,05$ ).

Redukovaná objemová hmotnost u orby byla signifikantně nižší, než u půdoochaných technologií (ANOVA, LSD test  $p < 0,05$ ). Hodnoty redukované objemové hmotnosti v případě orby byly nejnižší ve vrstvě 0 - 10 cm a s hloubkou narůstaly (ANOVA, LSD test  $p < 0,05$ ). U minimalizace a bezzásahové technologie byla také redukovaná objemová hmotnost nejnižší ve svrchní vrstvě 0 - 10 cm, ale nejvyšší byla již ve střední hloubce 10 - 20 cm (ANOVA, LSD test  $p < 0,05$ ) (Obrázek 18). Ve vrstvě 0 - 10 cm byla objemová hmotnost na orané ploše signifikantně nižší, než na obou plochách obdělávaných půdoochrannými technologiemi. Ty se pak od sebe statisticky významně nelišily. Pro ostatní hloubky nebyl mezi jednotlivými technologiemi statisticky významný rozdíl (ANOVA, LSD test  $p < 0,05$ ).



Obrázek 18. Hmotnost suché půdy ( $\text{g cm}^{-3}$ ) pro vzorky z různých hloubek u ploch obdělávaných různými zemědělskými technologiemi.

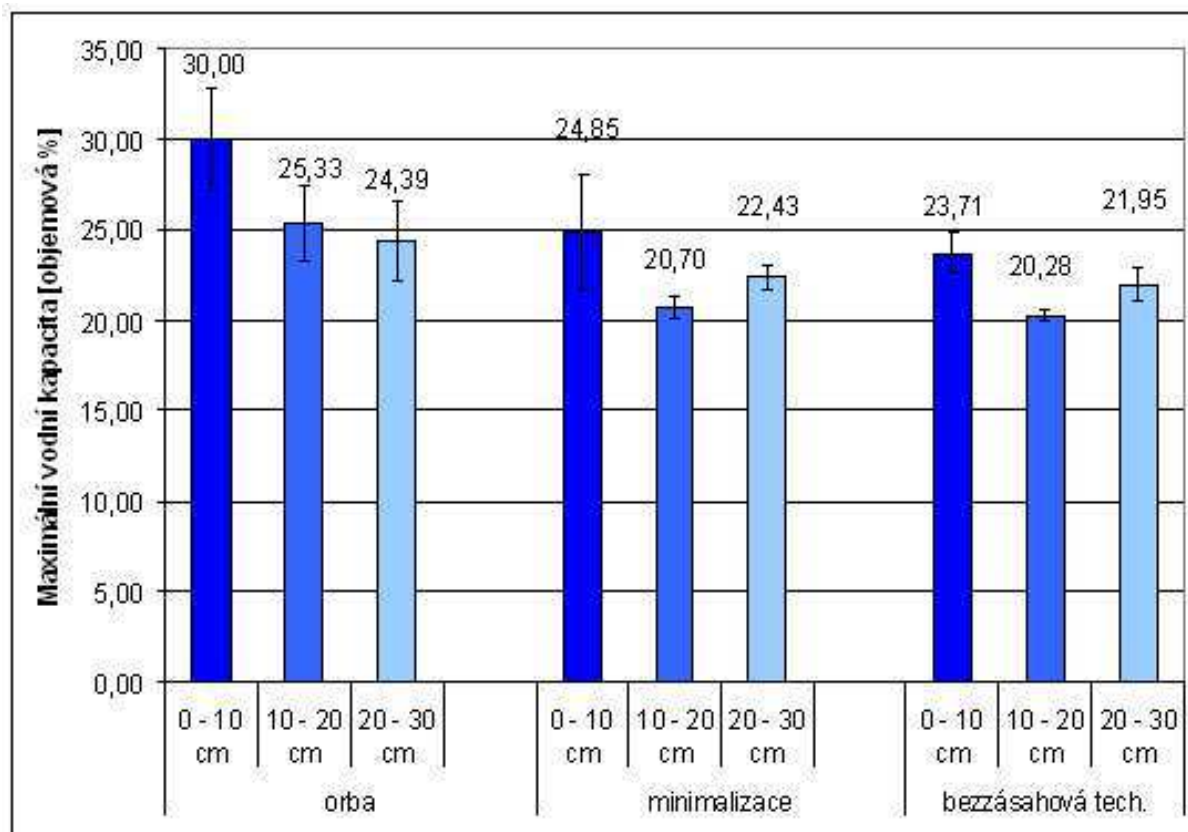
Tabulka 13. Střední hodnota hmotnosti suché půdy ve  $100 \text{ cm}^3$  vzorku u ploch obdělávaných různými zemědělskými technologiemi. Čísla za znaménkem „ $\pm$ “ představují směrodatnou odchylku. Statisticky homogenní skupiny jsou označeny stejnými písmeny. (ANOVA, LSD test  $p < 0,05$ )

Zemědělská technologie	Střední hodnota objemové hmotnosti suché půdy [ $\text{g cm}^{-3}$ ]
Orba	$1,37 \pm 0,22$ a
Minimalizace	$1,51 \pm 0,12$ b
Bezzásahová technologie	$1,56 \pm 0,06$ b

### 3.5.2 Maximální vodní kapacita

V případě maximální vodní kapacity byl prokázán vysoce signifikantní rozdíl jak mezi jednotlivými plochami obdělávanými různými zemědělskými postupy, tak i mezi jednotlivými hloubkami (ANOVA, LSD test  $p < 0,05$ ). Výsledky shrnuje obrázek (Obrázek 19).

Maximální vodní kapacita u orané plochy byla signifikantně vyšší, než u půdoochranných technologií (ANOVA, LSD test  $p < 0,05$ ). V případě orby dosáhla maximální vodní kapacita nejvyšší hodnoty ve vrstvě 0 - 10 cm a s hloubkou její hodnoty klesaly (ANOVA, LSD test  $p < 0,05$ ). U minimalizace a bezzásahové technologie rovněž dosáhla maximální vodní kapacita nejvyšších hodnot ve svrchní vrstvě 0 - 10 cm, ale nejnižší hodnoty byly naměřeny ve střední hloubce 10 - 20 cm (ANOVA, LSD test  $p < 0,05$ ).



Obrázek 19. Maximální množství vody zadržované kapilárními silami v půdě v objemových procentech u vzorků z různých hloubek u ploch obdělávaných různými zemědělskými technologiemi.

*Tabulka 14.* Střední hodnota maximálního množství vody zadržovaného kapilárními silami v půdě v objemových procentech u ploch obdělávaných různými zemědělskými technologiemi. Čísla za znaménkem „±“ představují směrodatnou odchylku. Statisticky homogenní skupiny jsou označeny stejnými písmeny. (ANOVA, LSD test  $p < 0,05$ )

Zemědělská technologie	Střední hodnota maximálního množství vody zadržovaného kapilárními silami půdy [objemová %]
Orba	27,37 ± 4,74 a
Minimalizace	22,18 ± 3,58 b
Bezzásahová technologie	22,20 ± 1,13 b

## 4 Diskuze

### 4.1 Souhrnné výsledky všech sezónních měření

Bylo prokázáno, že z dlouhodobého hlediska byl tok  $\text{CO}_2$  signifikantně vyšší u orané plochy oproti plochám obdělávaným půdoochrannými technologiemi. Plocha obdělávaná minimalizací se z hlediska toku  $\text{CO}_2$  od plochy obdělávané bezzásahovou technologií nelišila (Viz kapitola 3.1). I další studie, například Ricocky (1999) a Boeckx et al. (2010), potvrzují obdobné výsledky, kdy tok  $\text{CO}_2$  byl signifikantně vyšší u orané plochy oproti plochám obdělávaným různými půdoochrannými postupy. Jelikož existuje mnoho různých minimalizačních postupů, často byly v dalších studních sledovány jiné zemědělské postupy. Například Ricocky (1999) porovnává mezi sebou několik různých půdoochranných technologií, bezzásahovou technologii a orbu. Všechny plochy obdělávané půdoochrannými technologiemi vykazovaly v létě o dvě třetiny nižší produkci  $\text{CO}_2$  v porovnání s orbou.

Mnoho studií porovnává mezi sebou jen konvenční orbu a bezzásahovou technologii. Často jsou ještě srovnávány s travnatými plochami. Bylo prokázáno, že na plochách obdělávaných orbou byl signifikantně vyšší tok  $\text{CO}_2$  oproti plochám obdělávaným bezzásahovou technologií. Stejný jev popisují i Wagai et al. (1998), Ball et al. (1999), Jabro et al. (2007), Sainju et al. (2008), nebo Halvorson a Del Grosso (2009). Bylo zaznamenáno, Jabro et al. (2007), že tok  $\text{CO}_2$  na ploše obdělávané bezzásahovou technologií byl podobný, jako u trvale travnatého porostu.

#### 4.1.1 Vliv prostředí

Pro dýchání mikroorganismů (a tudíž produkci  $\text{CO}_2$ ) jsou určující podmínky prostředí, především teplota a vlhkost. Srovnání standardizovaných koeficientů závislosti na teplotě a vlhkosti prokázalo, že orané plochy reagují rozdílně na vlivy prostředí než plochy obdělávané půdoochrannými technologiemi. Pro respiraci je především určující vliv teploty, což ukázali například Smith et al. (2003) nebo Omonode et al. (2007).

### 4.1.2 Vliv teploty

Byla prokázána závislost půdní respirace na teplotě prostředí, kdy respirace s narůstající teplotou roste (Viz kapitola 3.1). S využitím dat ze všech dní měření byla zjištěna lineární závislost mezi teplotou vzduchu v měřicích komorách a půdní respirací. Nejstrmější nárůst vykazovala tato závislost pro plochu obdělávanou minimalizací a orbou. Nejpozdvolnější nárůst byl u přímky náležící ploše obdělávané bezzásahovou technologií. Lineární závislost mezi teplotou půdy a půdní respirací prokázali také Savage a Davidson (2003) a Sainju (2008). Naopak exponenciální závislost prokázali Wagai et al. (1998) a Jabro et al. (2007), kteří měli k dispozici více dat měření. V obou případech orba vykazovala strmější nárůst při teplotách vyšších než 20 °C oproti bezzásahové technologii. Skupina Sainju et al. (2008) porovnávala závislost toku CO<sub>2</sub> jak na teplotě vzduchu, tak na teplotě půdy pro hloubku 0 - 15 cm na dvou lokalitách. Na jedné lokalitě byly závislosti obdobné jak pro teplotu půdy, tak pro teplotu vzduchu. Na druhé lokalitě byla závislost respirace na půdní teplotě strmější, než závislost na teplotě vzduchu.

V práci nebyl zjištěn signifikantní rozdíl mezi půdní teplotou u polí obdělávaných orbou a bezzásahovou technologií, což se shoduje s výsledky Halvorson a Del Grosso (2009) a Boeckx et al. (2010).

Jiné studie zjistily sezónní rozdíly u půdní teploty, kdy na jaře byla signifikantně vyšší půdní teplota na oraných polích, naopak na podzim byla půdní teplota vyšší na polích obdělávaných bezzásahovou technologií. Během léta jsou půdní teploty srovnatelné, což popisují také Wagai et al. (1998) a Halvorson a Del Grosso (2009). Změny v prohřátí půdy během roku mohou ovlivňovat a vysvětlovat změny respirace v průběhu sezón, především mezi jarem a podzimem.

### 4.1.3 Vliv půdní vlhkosti

Závislost mezi tokem CO<sub>2</sub> a půdní vlhkostí byla prokázána pouze pro orbu. Tok CO<sub>2</sub> s rostoucí půdní vlhkostí na orané ploše klesal. Předpokládá se, že to souvisí s negativní korelací mezi teplotou a půdní vlhkostí a pozitivním vlivem teploty, jak bylo vysvětleno výše (Viz kapitola 4.1.2). Závislost jak na půdní teplotě, tak na vlhkosti pozorovali Ball et al. (1999). U polí obdělávaných orbou, nebo bezzásahovou technologií se mezi poli zavlažovanými a nezavlažovanými neprokázal signifikantní rozdíl v toku CO<sub>2</sub>.

U nezavlažovaných polí byla signifikantně vyšší teplota půdy v porovnání se zavlažovanými poli. Plochy obdělávané orbou a plochy obdělávané bezzásahovou technologií se signifikantně lišily z hlediska zadržování půdní vlhkosti, Sainju et al. (2008). V téže publikaci je rovněž dokumentován pokles toku  $\text{CO}_2$  na plochách obdělávaných bezzásahovou technologií, pravděpodobně kvůli ztrátě půdního vzduchu. Naopak Jabro et al. (2007) prokázali závislost na půdní vlhkosti přinášené dešti, kdy tok  $\text{CO}_2$  rostl s vlhkostí půdy a se suchem se snižoval. Pozoroval nárůst toku  $\text{CO}_2$  na oraných plochách po deštích nebo po zavlažování. Halvorson a Del Grosso (2009) pozorovali schopnost plochy obdělávané bezzásahovou technologií zadržovat více půdní vláhy oproti plochám obdělávaným orbou. Další publikace, Boeckx et al. (2010), dokumentuje schopnost ploch obdělávaných bezzásahovou technologií zadržovat nejvíce půdní vláhy. Méně vláhy zadržují plochy obdělávané minimalizací, a nejméně orané plochy. Stejný trend byl pozorován i při experimentálních měřeních v kapitole 3.5.2. Zvláště patrný rozdíl ve vlhkostech byl v průběhu podzimu 2010. (Viz Příloha A, obrázek F)

#### **4.1.4 Pórovitost půdy a půdní vzduch**

Půdní respiraci ovlivňuje i pórovitost půdy, která přímo souvisí s dostupností kyslíku pro mikroorganismy. Pórovitost může také ovlivňovat výpar z půdy a prorůstání kořenů rostlin. Například Jabro et al. (2007) zaznamenali negativní korelaci mezi porózitou a tokem  $\text{CO}_2$ .

Na sledované orané ploše VÚRV byla naměřena nižší objemová hmotnost půdy než na plochách upravovaných půdoochrannými technologiemi (Viz kapitola 3.5.1). Stejně rozdělení z hlediska objemové hmotnosti u ploch obdělávaných těmito zemědělskými technologiemi potvrdili Boeckx et al. (2010), zároveň také pozorovali útlum respirace po dešti. Výrazné snížení toku  $\text{CO}_2$  na ploše obdělávané bezzásahovou technologií pozorovala skupina Sainju et al. (2008). Ve všech případech byl za pravděpodobnou příčinu považován úbytek půdního vzduchu.

## **4.2 Respirace v průběhu roku**

Je možné popsat obecný průběh půdní respirace během vegetační sezóny. Na jaře tok  $\text{CO}_2$  do května pozvolna narůstá a začátkem léta rychle dosáhne svého maxima. Nejvyšších hodnot dosahuje obvykle v červenci, Jabro et al. (2007), Sainju et al. (2008), nebo

červnu, Halvorson a Del Grosso (2009). Vysoké hodnoty si respirace udržuje během srpna. Skupina Boeckx et al. (2010) dokonce zaznamenala nejvyšší hodnoty v srpnu. Na podzim respirace pozvolna klesá, dokud průměrné denní teploty neklesnou pod 5 °C, což je považováno za limitující teplotu pro dýchání mikroorganismů. Půdní respirace v zimě nebyla měřena. Tento průběh souvisí s teplotou půdy.

Průběh respirace se během roku mezi plochami obdělávanými různými zemědělskými technologiemi liší. Tok CO<sub>2</sub> na orbě během jara narůstá strměji, než na ostatních plochách (*Obrázek 8 - Obrázek 9*). Obdobné výsledky pozorovala i skupina Wagai et al. (1998).

#### **4.2.1 Jaro**

Během obou jarních období se ukázalo, že tok CO<sub>2</sub> na orané ploše výrazně převyšoval tok CO<sub>2</sub> na plochách obdělávaných půdoochrannými postupy. Přesto mezi jarem 2010 a 2011 existoval rozdíl v produkci CO<sub>2</sub>. Zatím co během jara 2010 se tok CO<sub>2</sub> na obou plochách upravovaných půdoochrannými technikami pohyboval ve srovnatelných hodnotách (Viz kapitola 3.2.1), v průběhu jara 2011 byl tok CO<sub>2</sub> na ploše obdělávané minimalizací prokazatelně vyšší, než u plochy obdělávané bezzásahovou technologií (Viz kapitola 3.2.2).

Nejzásadnější vnější faktory, které tento rozdíl mohly způsobit byly počasí, polní práce a změnila se i osevní plodina. Jelikož tok CO<sub>2</sub> závisí na teplotě (Viz kapitola 3.1), hodnoty toku CO<sub>2</sub> se mění každý rok v závislosti na meteorologických podmínkách. Jaro 2010 bylo zpočátku studené a hodně deštivé, následně v květnu převládalo suché a teplé počasí. Během jara 2011 se pozvolna oteplovalo, bez výrazných výkyvů v počasí. Lišil se i harmonogram polních prací (Viz kapitola 2.1). Další rozdíl spočíval v rozdílných plodinách. Na jaře 2010 se pěstovala řepka olejka, v roce 2011 hrách setý. Rostliny mohly ovlivňovat podmínky panující v půdě. Především se lišil podrost a jeho zápoj, což mohlo mít vliv na prohřev půdy a výpar.

#### **4.2.2 Podzim**

Oproti jarním sezónám, byl v průběhu podzimu nesignifikantní rozdíl v toku CO<sub>2</sub> mezi jednotlivými plochami. Rozdíl v toku CO<sub>2</sub> na polích byl spočítán pro míru pravděpodobnosti 95 %. Pokud by se však míra pravděpodobností rozšířila na 90 %, rozdíl



mezi plochami by byl signifikantní. Další odlišnost podzimu oproti jarům spočívala v průběhu polních prací. Nejvýznamnější zásahy do půdy se provádí koncem léta, naopak na jaře se do půdy zasahuje jen minimálně. Nejvíce se do půdy zasahuje při orbě, která byla v roce 2010 uskutečněna 6. září. Dva dny poté, 8. září, byl tok  $\text{CO}_2$  na orané ploše výrazně nižší, než na ostatních pokusných plochách. Pravděpodobně se jednalo o stresovou reakci mikroorganismů na prudké změny podmínek. Tok  $\text{CO}_2$  na orané ploše dále vzrůstal a během teplých dnů opět rychle dosáhl vysokých hodnot.

Další den, který vybočoval z řady, byl 5. listopad, kdy byly naměřeny nejvyšší hodnoty toku  $\text{CO}_2$  na bezzásahové ploše, nejnižší naopak na ploše orané. K takovému „převrácenému“ poměru mezi toky  $\text{CO}_2$  došlo, protože na orané ploše poklesla respirace, ale na bezzásahové ploše zůstala respirace v rámci podzimní řady. Jednalo se o výjimečně teplý den pozdního podzimu. Podobná situace nastala 29. dubna 2010, kdy během teplého období klesla respirace na orbě. Pravděpodobnou příčinou mohla být v tomto případě půdní vlhkost. Protože bezzásahová plocha zachovává vysokou půdní vlhkost, mohlo to přispět k udržení stabilních podmínek pro mikroorganismy. Pokles respirace na orané ploše koncem léta pod hodnoty respirace na bezzásahové ploše, pozoroval ve své práci i Halvorson a Del Grosso (2009).

Celkově byla pro podzimní průběh toku  $\text{CO}_2$  typická rozkolísanost. Navzájem se lišily nejen jednotlivé dny, často docházelo k situacím, kdy se během jednoho dne značně rozcházely hodnoty pocházející z různých skruží v rámci jedné varianty (Viz kapitola 3.2.3). Je možné, že k tomu docházelo kvůli teplotním výkyvům, v průběhu měření. Lišily se například teploty naměřené ráno a odpoledne.

### **4.3 Celodenní experiment**

Dlouhodobé sledování zachycovalo dýchání mikroorganismů ve vymezenou denní dobu. Za účelem zjištění, jaký je průběh půdní respirace během 24 hodin bylo provedeno dodatečné měření. Vzhledem k faktu, že chod respirace závisí na teplotě (Viz kapitola 3.3), bylo očekáváno, že nejvyšších hodnot dosáhne respirace během pozdního odpoledne, naopak v noci bude intenzita respirace klesat. Předpokládalo se, že dýchání nejvíce ustane v brzkých ranních hodinách. Celkově se předpokládalo, že se chování respirace v průběhu dne blíží sinusoidě.

Naměřené hodnoty se však od této hypotézy lišily. Průběh respirace po dobu 24 hodin (Viz kapitola 3.3) vykazoval píky a propady. Takovýto „zubatý“ průběh grafického zobrazení dlouhodobého kontinuálního měření je však typický, například: Knohl et al. (2005).

Vysvětlení průběhu se hledalo v souvislosti se změnou teploty prostředí, protože bylo prokázáno, že teplota může ovlivňovat intenzitu dýchaní. Vlhkost půdy můžeme považovat za konstantní po celý den. K dispozici byl záznam o průběhu teplot vzduchu z měřicích komor. Pomocí regrese byla spočítána závislost průběhu respirace na teplotních změnách. U půdoochranných technologií byla prokázána závislost respirace na teplotě vzduchu. Pro bezzásahovou plochu byla tato závislost velmi průkazná, pro minimalizaci méně průkazná. V případě orby byla tato závislost dokonce nesignifikantní (Viz kapitola 3.3).

Také byla sledována závislost respirace na teplotě půdy. Respirace na ploše upravované minimalizační technologií vykazovala průkaznější závislost na teplotě půdy, než na teplotě vzduchu. Ovšem v případě orané plochy zůstala regrese stále nesignifikantní. V případě bezzásahové plochy byla závislost na teplotě půdy méně průkazná, než závislost na teplotě vzduchu. Protože byla regrese mezi respirací a půdní teplotou pro orbu a minimalizaci průkaznější, než závislost na teplotě vzduchu, byla hledána další spojitost.

Byla spočítána závislost mezi respirací a hodnotami půdní teploty posunutými vůči respiraci o hodinu a o dvě hodiny. To odráželo možnost, že mikroorganismy reagují na teplotu půdy se zpožděním. V případě ploch upravovaných minimalizací nebo orbou byla korelace tím průkaznější, čím více se posunul časový interval mezi hodnotou toku  $\text{CO}_2$  a jemu přiřazenou hodnotou půdní teploty. V případě orané plochy vyšla tato závislost signifikantní, v případě minimalizace velice signifikantní. Naopak v případě bezzásahové plochy závislost slábla.

Ukázal se tak význačný rozdíl. Na oraném poli a na poli obdělávaném minimalizací reagovala mikroflóra na půdní teplotu, a to s dvouhodinovým zpožděním. Naopak, mikroflóra na poli obdělávaném bezzásahovou technologií byla více ovlivněna teplotou vzduchu, méně půdy.

Změřený tok  $\text{CO}_2$  nepředstavuje pouze dýchaní mikroorganismů, ale i kořenové dýchaní. I když měřicí skruže na poli byly zbavované vegetace (Viz kapitola 2.2), nelze

vyloučit vliv prorůstajících kořenů pěstovaných plodin. Rostliny by mohly být jednou z příčin rozdílu v průběhu respirací mezi plochami. Protože tok  $\text{CO}_2$  na bezzásahové ploše koreluje s teplotou vzduchu, je možné, že byl více ovlivněn kořenovým dýcháním. Naopak pro tok  $\text{CO}_2$  na orané ploše a minimalizaci byl pravděpodobně určován zejména mikroorganismy, protože koreluje se změnami půdní teploty (Viz kapitola 3.3).

#### **4.4 Laboratorní měření**

Pokusné plochy byly zkoumány z hlediska složení podle hloubek. Z každé obdělávané plochy byly 17. května 2011 odebrány vzorky ze třech různých hloubek. Laboratorní rozborů byly zaměřeny na analýzu rozložení mikroflóry a látek podle hloubky.

##### **4.4.1 Laboratorní respirace**

U vzorků odebraných z plochy obdělávané orbou a bezzásahovou technologií byl zjištěn přibližně stejný tok  $\text{CO}_2$ . Vzorky pocházející z plochy obdělávané minimalizací vykazovaly vyšší tok  $\text{CO}_2$  (Viz kapitola 3.4.1).

Z hlediska laboratorní respirace, se plochy obdělávané jednotlivými zemědělskými technologiemi lišily jinak, než se tyto plochy lišily z hlediska toku  $\text{CO}_2$  zjištěného terénním měřením. Půdní dýchání na poli a v laboratoři nebylo porovnatelné, neboť důležitým aspektem pro půdní respiraci je teplota. Ta se na poli průběžně měnila, a naproti tomu byla při laboratorním pokusu udržována konstantní teplota  $27\text{ }^\circ\text{C}$ . Při založení laboratorního experimentu byla ve vzorcích rozrušena struktura půdy, což umožnilo lepší přístup mikroorganismů ke kyslíku. V laboratorním experimentu byl rovněž eliminován vliv kořenového dýchání. Další rozdíl spočíval v jednotkách. Tok  $\text{CO}_2$  u laboratorní respirace [ $\mu\text{g C g}^{-1}\text{hod}^{-1}$ ] se vztahoval k hmotnosti půdy, zatím co tok u terénního experimentu se udával na plochu [ $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ].

Laboratorní respirace představuje potenciál dýchaní mikroorganismů při optimálních podmínkách a je ovlivněná množstvím organických látek (živin) dostupných mikroflóře.

Studie Hungria et al. (2009), zjistila signifikantní rozdíl mezi orbou a bezzásahovou technologií pro vrstvu 0 -10 cm, přičemž respirace na bezzásahové technologií byla vyšší.

Měli ovšem k dispozici mnohem větší počet vzorků. Zároveň zjistili větší obsah organického uhlíku na bezzásahové technologii, než na orbě. Stejně tak i studie Vargas Gil et al. (2009) zjistila signifikantně vyšší laboratorní respiraci u bezzásahové technologii oproti orbě.

#### **4.4.2 Rozložení mikrobiální biomasy**

Jednotlivé plochy se z hlediska mikrobiální biomasy signifikantně nelišily (Viz kapitola 3.4.2). I když bylo celkové zastoupení mikroorganismů u všech polí obdobné. Podstatný rozdíl mezi zkoumanými plochami byl v rozložení mikrobiální biomasy do hloubky. Z tohoto hlediska se prokázal výrazný rozdíl mezi orbou a plochami obdělávanými půdoochrannými technologiemi. Jak u minimalizace, tak u bezzásahové technologie byla mikrobiální biomasa koncentrována u povrchu v hloubce do 10 cm a s hloubkou ubývala. Naopak v případě orby byla mikrobiální biomasa rozložena rovnoměrně ve všech hloubkách. Obsah mikrobiální biomasy v hloubce 0 - 10 cm na půdoochranných technologiích byl signifikantně vyšší, než na orbě. Stejný rozdíl zjistila i studie Hungria et al. (2009), ovšem porovnávala pouze orbu a bezzásahovou technologii.

#### **4.4.3 Rozložení organického uhlíku**

U vzorků odebraných z plochy obdělávané orbou a bezzásahovou technologií byl zjištěn signifikantně stejný obsah organického uhlíku. Vzorky pocházející z plochy obdělávané minimalizací měly obsah vyšší (*Tabulka 10*). Jednotlivé plochy se tedy z hlediska obsahu organického uhlíku lišily stejně, jako v případě laboratorní respirace (Viz kapitola 4.4.1), obdobné výsledky také v studii Hungria et al. (2009). Avšak rozdíl mezi orbou a půdoochrannými technologiemi v rozložení organického uhlíku do hloubky, byl stejný jako v případě mikrobiální biomasy. Stejné rozdělení organického uhlíku pozorovali ve studii Zibilske et al. (2002). Zároveň stejné rozložení do hloubek bylo zjištěno i pro huminové látky a enzymy. Příčinou se jeví právě zemědělské zpracování půdy. U neobdělávané půdy byla největší abundance mikroorganismů u povrchu a s hloubkou klesá. Při orbě se každoročně svrchní půdní horizont zapraví do hloubky. Při půdoochranných postupech se zasahuje do svrchního půdního horizontu, ale půda se nepřevrací. Výskyt mikroflóry odpovídá nakládání s rostlinnými zbytky. S tím tedy koresponduje i rozložení organické hmoty (Viz kapitola 3.4.3).

#### 4.4.4 Aktivita enzymů

Údaje o mikrobiální biomase byly doplněny o výsledky enzymové aktivity. Enzymy skupiny dehydrogenázy jsou endocelulární a fungují pouze v živých buňkách. Proto jsou dobrým ukazatelem aktuálního stavu mikroorganismů. Naopak enzymy skupiny ureázy jsou exocelulární a tudíž mohou zůstat v půdě i poté, co buňky odumřou. U ploch obdělávaných půdoochrannými technologiemi byl největší obsah dehydrogenáz v povrchové vrstvě do 10 cm a s hloubkou prudce klesal. Na orané ploše byla aktivita dehydrogenáz z hlediska hloubek nerovnoměrná. V případě ureáz byl průběh aktivit obdobný.

Mezi jednotlivými plochami se neprokázal signifikantní rozdíl v aktivitě dehydrogenáz. Naopak v případě celkové aktivity ureáz se signifikantně prokázalo, že byla na orané ploše nižší, než na ostatních plochách. Důvodem mohla být nízká půdní vlhkost odebraných vzorků. Vzorky se odebíraly v polovině května ve velmi teplém období. I když se aktivita enzymů z hlediska hloubek shodovala, signifikantní vliv obdělávání byl prokázán pouze u ureáz, které v půdě mohly zůstat z předchozího období.

U aktivity dehydrogenáz v hloubce do 10 cm na plochách obdělávaných půdoochrannými technologiemi byl poměrně vysoký rozptyl v souboru dat. Tento rozptyl byl dán různou hodnotou aktivity dehydrogenáz u jednotlivých vzorků pro danou variantu. Skutečnost, že se jednotlivé vzorky značně lišily, byla pozorována už během laboratorních prací, podle zabarvení roztoků. Bylo pečlivě zkontrolováno, zda nedošlo k chybě při laboratorních pracích a možnost chyby v pracovním postupu byla vyloučená. Protože vzorky pocházejí z různých částí pokusných ploch, je možné že se na různých částech pole lišily lokální podmínky, a to i z hlediska vlhkosti.

#### 4.4.5 Obsah huminových látek

Obsah huminových látek a kyselin je důležitý faktor pro půdní úrodnost. Oraná plocha měla signifikantně nižší obsah huminových kyselin a marginálně signifikantně nižší obsah huminových látek oproti plochám obdělávaným půdoochrannými technologiemi. Tento rozdíl mezi plochami je opačný, než rozdíl u půdní respirace, kdy na orané ploše byl signifikantně vyšší tok CO<sub>2</sub> oproti ostatním plochám.

Z hlediska rozložení do hloubek bylo rozložení obsahu huminových látek a kyselin obdobné, jako v případě rozložení organického uhlíku.

## 5 Závěry

1. Pro tok  $\text{CO}_2$  byly prokázány vysoce signifikantní vlivy dvou faktorů, vliv způsobu obdělávání plochy a vliv dne. Plocha obdělávaná orbou vykazovala signifikantně vyšší tok  $\text{CO}_2$  než plochy obdělávané půdoochrannými technologiemi.

2. Byla prokázána závislost toku  $\text{CO}_2$  na teplotě. Byla zjištěna lineární závislost, která měla strmější nárůst u orby a minimalizace, pozvolnější u bezzásahové technologie. Signifikantní závislost mezi půdní vlhkostí a tokem  $\text{CO}_2$  byla zjištěna pouze pro orbu.

3. Tok  $\text{CO}_2$  na orané ploše a minimalizaci reagoval na teplotu půdy s dvouhodinovým zpožděním. Tok  $\text{CO}_2$  na bezzásahové technologii reagoval na aktuální teplotu vzduchu, pro teplotu půdy byla závislost méně průkazná.

4. Tok  $\text{CO}_2$  na všech plochách během jara narůstal a na podzim klesal. Jednotlivé plochy se z hlediska toku  $\text{CO}_2$  signifikantně lišily pouze během jarních sezón. Během jara 2010 byl na orané ploše signifikantně vyšší tok  $\text{CO}_2$ , než na plochách obdělávaných půdoochrannými technologiemi. Během jara 2011 se navzájem statisticky lišila všechna tři pole. Plocha obdělávaná orbou opět vykazovala největší tok  $\text{CO}_2$ , nižší tok  $\text{CO}_2$  byl u minimalizace a plocha obdělávaná bezzásahovou technologií vykazovala nejnižší tok  $\text{CO}_2$ . Rozdíly mezi jary byly pravděpodobně zapříčiněny počasím.

5. Jednotlivé plochy se z hlediska obsahu mikrobiální biomasy signifikantně nelišily. Na orané ploše byl obdobný obsah mikrobiální biomasy ve všech hloubkách. Na obou plochách obdělávaných půdoochrannými technologiemi byl nejvyšší obsah mikrobiální biomasy ve svrchní vrstvě do 10 cm a s hloubkou klesal. Obdobné rozložení bylo i u enzymatické aktivity.

6. Laboratorní respirace, na kterou je možné nahlížet jako na potenciál respirační aktivity mikroorganismů, byla stejná u orby a bezzásahové technologie. U minimalizace byl tok  $\text{CO}_2$  vyšší, než u ostatních ploch.

7. Obsah organického uhlíku na minimalizaci byl vyšší, než u zbylých ploch. U orby byl obsah organického uhlíku obdobný ve všech vrstvách. U půd obdělávaných půdoochrannými technologiemi byla koncentrace organického uhlíku nejvyšší ve svrchní vrstvě a s hloubkou klesala. Na plochách obdělávaných půdoochrannými technologiemi byl signifikantně vyšší obsah huminových kyselin, než na orané ploše. Rozložení těchto látek do hloubek bylo podobné, jako v případě organického uhlíku.

## Seznam citované literatury

- Alluvione, F., Halvorson, A. D., Del Grosso, S. J. (2009) Nitrogen, Tillage, and Crop Rotation Effects on Carbon Dioxide and Methane Fluxes from Irrigated Cropping Systems. *Journal of Environmental Quality* 38, 2023–2033
- Ball, B. C., Scott, A., Parker, J. P. (1999) Field N<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> fluxes in relation to tillage, compaction and soil quality in Scotland. *Soil & Tillage Research* 53, 29-39
- Barry, R. G., Chorley, R. J. (2003) *Atmosphere, Weather and Climate*. Routledge, 8<sup>th</sup> edition. New York (2003). 536 str.
- Baveye, P. C., Rangel, D., Jacobson, A. R., Laba, M., Darnault, C., Otten, W., Radulovich, R., Camargo, F. A. O. (2011) From Dust Bowl to Dust Bowl: Soils are Still Very Much a Frontier of Science. *Soil Science Society of America Journal* 75, 2037-2048
- Beare, M. H., Cabrera, M. L., Hendrix, P. F., Coleman, D.C. (1994) Aggregate-protected and unprotected organic matter pools in conventional- and no-tillage soils. *Soil Science Society of America Journal* 58, 787–795
- Blevins, R. L., Frye, W. W. (1993) Conservation tillage: An Ecological Approach to Soil Management. In: Sparks, D. L. (ed.) *Advances in Agronomy*, vol. 51., (1993) Academic Press, Inc., San Diego, 33-78
- Boeckx, P., Van Nieuland, K., Van Cleemput, O. (2010) Short-term effect of tillage intensity on N<sub>2</sub>O and CO<sub>2</sub> emissions. *Agronomy for Sustainable Development* 31, 453–461
- Brye, K. R., Gower, S. T., Norman, J. M., Bundy, L. G. (1998) Land use and Environmental factors influencing soil surface CO<sub>2</sub> flux and microbial biomass in natural and managed ecosystems in southern Wisconsin. *Soil Biology and Biochemistry* 30, 1501-1509
- Cantero-Martínez, C., Angás, P., Lampurlanés, J. (2007) Long-term yield and water use efficiency under various tillage systems in Mediterranean rainfed conditions. *Annals of Applied Biology* 150, 293-305



- ČSÚ (2010) Balance půdy v krajích. [online] stav k 31. 12. 2010 [cit. 2012-05-04]. <[http://vdb.czso.cz/vdbvo/tabparam.jsp?voa=tabulka&cislotab=RSO0010PU\\_KR&vo=null&kapitola\\_id=9](http://vdb.czso.cz/vdbvo/tabparam.jsp?voa=tabulka&cislotab=RSO0010PU_KR&vo=null&kapitola_id=9)>
- Forster, P., Ramaswamy, V., Artaxo, P., Berntsen, T., Betts, R., Fahey, D. W., Haywood, J., Lean, J., Lowe, D. C., Myhre, G., Nganga, J., Prinn, R., Raga, G., Schulz, M., Van Dorland, R., (2007) Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. In: Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z. , Marquis, M., Averyt, K. B., Tignor, M., Miller, H. L. (Ed.), Climate Change, (2007) The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, New York.
- Heinemeyer, A., McNamara, N. P. (2011) Comparing the closed static versus the closed dynamic chamber flux methodology: Implications for soil respiration studies. *Plant Soil* 346, 145–151
- Hungria, M., Franchini, J. C., Brandão-Junior, O., Kaschuk, G., Souza, R. A. (2009) Soil microbial activity and crop sustainability in a long-term experiment with three soil-tillage and two crop-rotation systems. *Applied Soil Ecology* 42, 288-296
- Hůla, J., Janeček, M., Kovaříček, P., Bohislávek, J. (2003) Agrotechnická protierozní opatření. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, Praha.
- Hůla, J., Kovaříček, P., Vlašková, M. (2009) Orba a alternativní způsoby hlubšího zpracování půdy. *Farmář* 9, XIV-XVIII
- IPCC (2007) Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Pachauri, R.K, Reisinger, A. (eds.). IPCC, Geneva, Switzerland, 104 str.
- Jabro, J. D., Sainju, U. M., Stevens W. B., Evans, R. G. (2007) Carbon dioxide flux as affected by tillage and irrigation in soil converted from perennial forages to annual crops. *Journal of Environmental Management* 88, 1478-1484

- Javůrek, M., Hůla, J., Vach, M., Kroulík, M. (2008) Impact of different soil tillage technologies on soil erosion effect mitigation. *Scientia Agriculturae Bohemica* 39, 218-223
- Javůrek, M., Mikanová, O., Vach, M., Šimon, T. (2010) Význam půdoochranných technologií v rostlinné výrobě pro rozvoj půdní úrodnosti. *Metodika pro praxi*. VÚRV, v.v.i. Praha.
- Kandeler, E., Gerber, H. (1988) Short-term assay of soil urease activity using colorimetric determination of ammonium. *Biology and Fertility of Soils* 6, 68–72
- Kay, B. D., Angers, D. A. (2000). Soil Structure. In: Sumner, M. E. (ed.) *Handbook of Soil Science*. CRC Press, (2000). 2148 str.
- Kladivko, E. J., (2001) Tillage systems and soil ecology. *Soil & Tillage Research* 61, 61-76
- Králová, M., Draždák, K., Pospíšil, F., Hadačová, V., Klozová, E., Luštinec, J., Kutáček, M., Sahulka, J. (1991) *Vybrané metody chemické analýzy půd a rostlin*. Studie ČSAV. Akademia Praha. 160 str.
- Knohl, A., Werner, R. A., Brand, W. A., Buchmann, N. (2005) Short-term variations in  $\delta^{13}\text{C}$  of ecosystem respiration reveals link between assimilation and respiration in a deciduous forest. *Oecologia* 142, 70–82
- Lal, R., Kimble, J. M. (1997) Conservation tillage for carbon sequestration, *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 49, 243-253
- Lal, R. (1997) Residue management, conservation tillage and soil restoration for mitigating greenhouse effect by  $\text{CO}_2$  - enrichment. *Soil & Tillage Research* 43, 81-107
- Mikanová, O., Šimon, T., Cerhanová, D. (2010) Hodnocení kvality půdy biologickými metodami. *Metodika pro praxi*. VÚRV, v.v.i. Praha.
- Moldan, B. (2009) *Podmaněná planeta*. Karolinum, Praha (2009). 420 str.

- Nannipieri, P., Ceccanti, B., Grego, S. (1990) Ecological significance of the biological activity in soil. In: Bollag, J. M., Stotzky, G. (ed.) Dekker, M. Soil Biochemistry, (1990) New York. vol. 6 293-355
- Němec, J., Pojer, F. (ed.) Ložek, V., Gojda, M. (2007) Krajina v České republice. Pro MŽP vydal Consult Praha. 28-30, 53-55, 102-108
- Pokorný, E., Šarapatka, B., Hejátková, K. (2007) Hodnocení kvality půdy v ekologicky hospodařícím podniku. Metodická pomůcka. Pro MZe ČR vydala Zemědělská a ekologická regionální agentura, o.s. Náměšť nad Oslavou.
- Reicosky, D. C. (2001) Effects of Conservation Tillage on Soil Organic Carbon Dynamics: Field Experiments in the U.S. Corn Belt. In: Stott, D. E., Mohtar, R. H., Steinhardt, G. C. (Ed.) (2001) Sustaining the Global Farm. Selected papers from the 10<sup>th</sup> International Soil Conservation Organization Meeting held May 24-29, 1999 at Purdue University and the USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory. 481-485
- Rusek, J. (2005) Indikátory změn půdní biodiverzity. In: Vačkář, D. (ed.) Ukazatele změn biodiverzity, (2005) Academia. Praha. 249-259
- Sainju, U. M., Jabro, J. D., Stevens, W. B. (2008) Soil Carbon Dioxide Emission and Carbon Content as Affected by Irrigation, Tillage, Cropping System, and Nitrogen Fertilization. Journal of Environmental Quality 37, 98–106
- Savage, K. E., Davidson, E. A. (2003) A comparison of manual and automated systems for soil CO<sub>2</sub> flux measurements: trade-offs between spatial and temporal resolution. Journal of Experimental Botany 54, 891-899
- Schnitzer, M., Khan, S. U. (1972) Humic substances in the environment. Marcel Dekker, Inc. New York 327 str.
- Six, J., Elliott, E. T., Elliott, K. (2000) Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: a mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture, Soil Biology & Biochemistry 32, 2099-2103

- Státní politika životního prostředí ČR (SPŽP) pro období 2004-2010. MŽP ČR. Praha 2004, Usnesení vlády č. 235/2004 Sb. O Státní politice životního prostředí České republiky
- Ulrich, S., Tischer, S., Hofmann, B., Christe, O. (2010) Biological soil properties in a long-term tillage trial in Germany, *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 173, 483–489
- Walters, D. (ed.) (2009) *Disease Control in Crops: Biological and Environmentally-Friendly Approaches*. Wiley-Blackwell Publishing, Ltd., 280 str.
- Vance, E. D., Brookes, P. C., Jenkinson, D. S. (1987) An extraction method for measuring microbial biomass C. *Soil Biology and Biochemistry* 19, 703-707
- Vargas Gil, S., Meriles, J., Conforto, C., Figoni, G., Basanta, M., Lovera, E., March, G. J. (2009) Field assessment of soil biological and chemical quality in response to crop management practices. *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 25, 439-448
- Vrba, V., Huleš, L. (2006) Humus - půda - rostlina (1) Funkce humusu v ekosystému. *Biom.cz*. [online] 2006-09-04 [cit. 2012-05-04]. <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/humus-puda-rostlina-1-funkce-humusu-v-ekosystemu>>
- Vrba, V., Huleš, L. (2006) Humus - půda - rostlina (2) Humus a půda. *Biom.cz*. [online] 2006-11-14 [cit. 2012-05-04]. <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/humus-puda-rostlina-2-humus-a-puda>>
- Zachar, D. 1982: Soil erosion. *Developments in Soil Science* 10. Amsterdam: Elsevier Scientific. 547 str.
- Zhang, L., Chen, Y., Zhao, R., Li, W. (2012) Soil carbon dioxide flux from shelterbelts in farmland in temperate arid region, northwest China. *European Journal of Soil Biology* 48, 24-31